



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION**

**Implementación de enlace microondas como última milla de la red CLARO para disminuir la brecha de las comunicaciones en la comunidad San Pedro del Norte, Bocana de Paiwas, RAAS**

**Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero en Telecomunicaciones**

**Autores:**

- Br. Eduardo Antonio Obando Jácamo 2010-34801
- Br. Fernando Josué Oviedo González 2010-34827
- Br. Guillermo Alejandro Zeledón Palacios 2010-34867

**Tutor:**

Msc. Ing. Fernando Flores

Managua, Octubre 2017

## DEDICATORIA

“Dedico esta tesis a Dios, quien me ha guiado y dado fortaleza de seguir adelante. A mis padres quienes me dieron la vida, educación, apoyo y consejos. A mis compañeros de estudio, maestros y amigos, quienes sin su ayuda nunca hubiera realizado esta tesis. A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma. Para todos ellos hago esta dedicatoria”.

**Eduardo Antonio Obando Jácamo**

“Dedico este trabajo a 3 mujeres que representan la base de mi vida como lo son mi madre Silvia Oviedo, que es mi pilar fundamental que gracias a ella he logrado salir adelante como profesional, persona e hijo. A mi abuela Gertrudis González, que logró ser una influencia fuerte en mi etapa universitaria logrando que me esforzaré cada día a ser mejor y por último, pero no menos importante a esa mujer que desde que nací me quiso como su propio nieto y siempre quiso lo mejor para mi Ana María Ortega”.

**Fernando Josué Oviedo González**

“Dedico esta tesis primeramente a Dios por darme salud para poder culminar esta etapa de preparación, a mi familia, en especial a mi madre Ana Rosa por apoyarme en cada paso que doy, de igual manera a mi hermana Roxana por estar siempre conmigo, a mi novia Ana Patricia por la ayuda incondicional que me brinda, a mis amigos por el aprecio que tienen hacia mí y en especial a una persona que ya no está conmigo pero que fue, es y será un pilar fundamental en mi vida Juan Ruiz Sandino”.

**Guillermo Alejandro Zeledón Palacios**

## RESUMEN

Dada la creciente necesidad que tiene el ser humano de mantenerse comunicado, la empresa de telecomunicaciones CLARO, tiene como objetivo brindar los servicios de voz y datos en las comunidades más remotas de nuestro país.

Esta tesis está basada en la construcción de un enlace microonda, tomando en cuenta el aspecto económico y técnico de los diferentes equipos, dicho enlace beneficiara la comunicación de la comunidad San Pedro del Norte en Bocana de Paiwas, RAAS.

La implementación se logró debido a que en la comunidad solo se encontraba la competencia de la empresa, estando monopolizado la telefonía celular en el sitio, así como ampliar la cobertura de la red CLARO.

El enlace es un arreglo 1 + 0 de 164Mbps Full Dúplex diseñado con herramienta PATHLOSS 5.0, con una distancia de 7.6 Km desde el cerro la Sirena hasta San Pedro del Norte, con doble polaridad, proporcionando el transporte del tráfico de la radio base ubicada en el sitio.

Dentro de los alcances de esta tesis esta la visita técnica a los sitios para verificar que existan las condiciones necesarias para la implementación del radio enlace.

Se realizaron pruebas para garantizar la fiabilidad y disponibilidad del enlace. Los resultados obtenidos demuestran que el enlace posee el 99.6% de precisión en las peores condiciones.

Una vez finalizado este trabajo escrito, se logra recomendarlo como una guía para realizar diseño, planificación e instalación de un enlace real tanto para estudiantes que deseen introducirse en el diseño de radio enlaces.

## CONTENIDO

<i>Dedicatoria</i> .....	2
<i>Resumen</i> .....	3
<i>Figuras</i> .....	5
<i>Tablas</i> .....	7
<i>Abreviaciones</i> .....	8
<i>I. Introducción</i> .....	9
<i>II. Antecedentes</i> .....	10
<i>III. Planteamiento del problema</i> .....	11
<i>IV. Justificación</i> .....	12
<i>V. Objetivos</i> .....	13
<i>Objetivo general</i> .....	13
<i>Objetivo específico</i> .....	13
<i>VI. Marco teórico</i> .....	14
<i>VII. Technical site survey</i> .....	33
<i>VIII. Diseño de proyecto</i> .....	44
1. <i>Pathloss 5.0</i> .....	44
2. <i>Radio mobile</i> .....	54
3. <i>Presupuesto</i> .....	61
4. <i>Representación gráfica</i> .....	65
<i>VIII. Implementación</i> .....	65
1. <i>Instalación física</i> .....	65
2. <i>Instalación de software</i> .....	67
<i>IX. Pruebas</i> .....	74
<i>X. Conclusiones</i> .....	91
<i>XI. Recomendaciones</i> .....	92
<i>XII. Referencias</i> .....	93

## FIGURAS

<i>Figura 1: Ondas electromagnéticas .....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2: Espectro electromagnético de frecuencias.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3: Espectro radioeléctrico.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4: Diagrama de bloques de un transmisor.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5: Diagrama de bloques de un receptor.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 6: Esquema básico de modulación QPSK.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 7: Zonas de Fresnel .....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8: Elementos de la primera zona de Fresnel. ....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 9: Barra de tareas de PATHLOSS 5.0.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 10: Introducción de datos de los sitios.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 11: Configuración geográfica de sitios.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 12: Introducción de datos geográficos de sitios.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 13: Importación de archivos geográficos .....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 14: Enlace punto a punto .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 15: Menú desplegable del enlace .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 16: Generar perfil .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 17: Generar perfil .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 18: Revisión general del sitio para generar perfil.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 19: Configuración de altura de antenas .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 20: Calculo de altura de antenas .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 21: Análisis de transmisión .....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 22: Análisis de transmisión del enlace.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 23: Definición de afectaciones climáticas .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 24: Selección de parámetros de antena .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 25: Selección de modelo de radio.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 26: Datos generales del perfil de radio enlace.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 27: Generación de perfil general.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 28: Perfil general del radio enlace .....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 29: Selección de un sitio como referencia en el mapa .....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 30: Selección de tamaño de la imagen a trabajar .....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 31: Selección del tipo de combinación de imágenes en el mapa .....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 32: Imagen del sitio a trabajar desde Radio Mobile.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 33: Introducción de datos de ubicación del sitio LA SIRENA .....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 34: Introducción de datos de ubicación del sitio SAN PEDRO DEL NORTE .....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 35: Selección de datos del radio enlace .....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 36: Selección del tipo de diseño de red para el radio enlace .....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 37: Selección del sitio LA SIRENA que formará parte del diseño del radio enlace.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 38: Selección del sitio SAN PEDRO DEL NORTE que formará parte del diseño del radio enlace .....</i>	<i>59</i>

<i>Figura 39: Introducción de parámetros de potencia, ganancia y pérdidas para el diseño.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 40: Sitios reflejados en el mapa.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 41: Radio enlace entre sitios.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 42: Datos de radio enlace con zonas de Fresnel .....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 43: Representación gráfica del radio enlace LA SIRENA – SAN PEDRO DEL NORTE.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 44: Instalación de antena y equipo Outdoor .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 45: Instalación de equipos indoor en los sitios. ....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 46: Dirección IP en la PC local para conectarse al radio.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 47: Interfaz de inicio de RADWIN MANAGER.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 48: Interfaz gráfica de RADWIN MANAGER .....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 49: Cambio de función de ODU .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 50: Activación de configuración de enlace en RADWIN 2000D+ .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 51: Configuración de nombre del enlace .....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 52: Introducción de direcciones IP en el radio.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 53: Selección de frecuencia y ancho de espectro .....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 54: Introducción de datos de potencia, ganancia y perdidas.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 55: Culminación de configuración de radio.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 56: Niveles de radio enlace y throughput.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 57: Resultados de pruebas Throughput.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 58: Resultados de prueba de pérdida de trama y latencia .....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 59: IP de host ubicado en San Pedro del Norte VLAN 2500.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 60: Ping Gateway para VLAN 2500 .....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 62: Ping hacia servidor SYNC2 .....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 68: Ping hacia Gateway .....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 69: Ping hacia Servidor NTP1.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 73: Ping hacia Gateway .....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 74: Ping hacia OSS.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 75: Ping hacia NTP .....</i>	<i>90</i>

## TABLAS

<i>Tabla 1: Designaciones de banda CCIR.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2: Parámetros de clima. ....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 3: Descripción de proyecto.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4: Tipo de construcción sitio A .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 5: Descripción de torre sitio A .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 6: Altura de antena sitio A .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 7: Barra de tierras existentes en sitio A .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 8: Barra de tierras nuevas en sitio A .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 9: Cableado para ODU'S en sitio A .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 10: Cantidad de Clamps en sitio A.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 11: Cantidad de Cable STP a utilizar en sitio A .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 12: Ubicación de antena nueva en sitio A.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 13: Disponibilidad en Shelter en sitio A.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 14: Descripción equipos existentes de energía en sitio A .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 15: Descripción de equipos indoor a instalar en sitio A .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 16: Descripción de frecuencias a utilizar en sitio A.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 17: Resumen de requerimientos en sitio A .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 18: Tipo de construcción sitio B .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 19: Descripción de torre sitio B .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 20: Altura de antena sitio B.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 21: Barra de tierras existentes en sitio B .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 22: Barra de tierras nuevas en sitio B.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 23: Cableado para ODU'S en sitio B .....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 24: Cantidad de Clamps en sitio B.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 25: Cantidad de Cable STP a utilizar en sitio B .....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 26: Ubicación de antena nueva en sitio B.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 27: Disponibilidad en Shelter en sitio B.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 28: Descripción equipos existentes de energía en sitio B .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 29: Descripción de equipos indoor a instalar en sitio B .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 30: Descripción de frecuencias a utilizar en sitio B.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 31: Resumen de requerimientos en sitio B .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 32: Tabla comparativa de soluciones propuestas.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 33: Descripción de equipo de radio Radwin 2000 D+.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 34: Dinero para personal de Claro .....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 35: Dinero para personal de TELSSA.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 36: Alquiler de Sitio SBA (Mensual) .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 37: Presupuesto para implementación de radio enlace.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 38: Asignación de direcciones IP para VLAN 2500 y VLAN 2502 .....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 39: Asignación de direcciones IP para VLAN 2668 y VLAN 2669.....</i>	<i>83</i>

## ABREVIACIONES

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
<b>TAB</b>	Tecla tabuladoras del teclado, se utiliza para avanzar hasta el siguiente "tab stop"
<b>GIS</b>	Geographic information system-Sistema de información geográfica
<b>CSV</b>	Comma-separated values
<b>SRTM</b>	Shuttle Radar Topography Mission - Misión Topográfica Shuttle Radar
<b>DEM</b>	Digital elevation model – modelo digital de elevación
<b>TX</b>	Transmisión
<b>RX</b>	Recepción
<b>MHZ</b>	Megahercio - unidad de medida de la frecuencia; equivale a 10 <sup>6</sup> hercios
<b>ODU</b>	Outdoor Unit
<b>DB</b>	Decibelio
<b>DBM</b>	Decibelio-milivatio - unidad de medida de potencia expresada en decibelios
<b>FITEL</b>	Fondo de Inversión en Telecomunicaciones
<b>TELCOR</b>	Ente Regulador de Telecomunicaciones en Nicaragua
<b>RAAS</b>	Región Autónoma del Atlántico Sur
<b>LOS</b>	Line of Sight – Línea de Vista
<b>OEM</b>	Onda Electromagnética
<b>CCIR</b>	Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones
<b>ITU-R</b>	Sector de las radiocomunicaciones de la unión internacional de telecomunicaciones
<b>PDH</b>	Jerarquía Digital Plesiócrona
<b>SDH</b>	Jerarquía Digital Síncrona
<b>QPSK</b>	Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura
<b>CP-SFK</b>	Modulación por desplazamiento de frecuencia de fase continua
<b>TCM</b>	Modulación de código de Trellis
<b>FSL</b>	Perdida de propagación en el espacio libre
<b>GHz</b>	GigaHertz
<b>KM</b>	Kilometro
<b>RF</b>	Radiofrecuencia
<b>Mbps</b>	Megabyte por segundo
<b>IDU</b>	Indoor Unit
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>HBS</b>	Host Base Station
<b>HSU</b>	Host Subscritor Unit
<b>IETF</b>	Internet Engineering Task Force
<b>BMWG</b>	Benchmarking Methodology
<b>RFC</b>	Request For Comments
<b>VLAN</b>	Virtual Local Area Network – Red de Area Local Virtual
<b>SYNC</b>	Secure Cloud Storage
<b>NTP</b>	Network Time Protocol
<b>OSS</b>	Operations Support Systems



## I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo monográfico se desarrolló en la implementación de un radio enlace entre un nodo dentro de la cadena de radio enlaces de la red CLARO dirigido hacia la comunidad de San Pedro del Norte, esto procede debido a la poca cobertura de la red en esa comunidad debido a su déficit de comunicación hacia el exterior, la población estaba casi obligada a usar la red de la competencia lo cual provocaba un mercado monopolizado en el área y no muy viable para la población. Con esta implementación de radio enlace se logró generar más facilidad en la comunicación al exterior. Eliminando la monopolización del mercado, lo cual atrajo a nuevos usuarios y la posibilidad a la disminución de precios en la tarifa.

Al mismo tiempo se logró adquirir conocimiento en el manejo de radios y software **PATHLOSS<sup>1</sup> 5.0** y **RADIO MOBILE<sup>2</sup>**, herramientas necesarias en el diseño del radio enlace. Elementos claves que lastimosamente no se pueden obtener un conocimiento previo dentro de la institución académica. Sirviendo este trabajo monográfico como ejemplo futuro, para el aprendizaje de futuros ingenieros en los diseños de radio enlaces, aunque sea de manera teórica, adaptándose a interfaces que se utilizan día a día en el campo.

De manera paralela con la ingeniería del radio enlace se consideró importante el factor económico, debido a que al seleccionar el tipo de radio se tomó en cuenta las necesidades y requerimientos solicitados en la ingeniería y la diferencia entre precios, al igual que los radios se toman en cuenta los materiales de construcción de las torres, antenas, cables IF, banco de baterías para respaldo de alimentación, protección para descargas atmosféricas, etc. Lo cual se logró gracias a un estudio económico y comparativo, que se dará detalle en este presente trabajo monográfico.

Como resultados previstos se llegó a la meta de expandir la cobertura de la red CLARO, ampliar el mercado y el número de potenciales clientes en la comunidad, así como que este trabajo sirva como posible guía en desarrollos de diseños de radio enlaces para estudiantes.

---

<sup>1</sup> **PATHLOSS:** Herramienta licenciada utilizada en el diseño de radio enlace tomando en cuenta los datos obtenidos a la oreografía del sitio.

<sup>2</sup> **RADIO MOBILE:** Software libre utilizado para el diseño de radio enlaces con motivos de aprendizaje.

## II. ANTECEDENTES

San Pedro del Norte, ubicada a 76 Km de Rio Blanco, perteneciente al municipio de Paiwas, Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS), cuenta con una población de 8,000 habitantes aproximadamente en el año 2012 <sup>[5]</sup>, de los cuales el 70% posee un teléfono celular, que se conecta a la red MOVISTAR debido a que es la única compañía que tiene cobertura en la comunidad, esto implica un mayor costos a los usuarios al momento de realizar llamadas hacia la otra compañía CLARO , además del congestionamiento de la red debido a la baja capacidad de la radio base y la poca confiabilidad que presenta los equipos instalados en su última milla.

Debido a la problemática de llevar comunicación a las comunidades remotas en el país, se han presentado proyectos similares al propuesto en este trabajo monográfico, existiendo el proyecto **FITEL**<sup>3</sup> que implementa **TELCOR**<sup>4</sup> , lo cual permitiría el acceso universal a las comunicaciones en todo el país. Siendo beneficiados hasta el momento 365 comunidades, para poder lograr al objetivo de que el 72% de la población nicaragüense logre tener acceso a la telefonía celular <sup>[12]</sup>.

En la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), se han desarrollado tesis de instalación de radio enlaces, como es la elaborada por el Br. Aldert Olivas en el año 2013, titulada “Centro de entrenamiento para el diseño de radioenlaces microondas en la facultad de electrotecnia y computación”, las cuales nos ayudan a tener una visión más clara acerca del diseño y configuración de un radioenlace, y esto nos sirve de apoyo para llevar a cabo el despliegue de este tipo de instalaciones.

---

<sup>3</sup> **FITEL**: Fondo de Inversión en Telecomunicaciones.

<sup>4</sup> **TELCOR**: Ente regulador de telecomunicaciones en Nicaragua.

### **III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los operadores de red telefónica en Nicaragua aún con la expansión de la red todavía no tienen cobertura en el 100% del territorio Nicaragüense o por lo menos en las zonas menos pobladas del país, en ciertas zonas solo está presente la competencia. Ejemplo de ello es la comunidad de San Pedro del Norte, en el municipio de Paiwas, RAAS; donde el único operador en el sitio es MOVISTAR monopolizando las comunicaciones hacia el exterior de la comunidad, formando el 70% de la población usuaria de teléfonos celulares y por lo cual siendo miembros consumidores.

#### **IV. JUSTIFICACION**

Debido al alto crecimiento poblacional en la comunidad de San Pedro del Norte, la demanda de los servicios de telefonía móvil ha aumentado con el pasar de los años, habiendo una única empresa que llega hasta la comunidad prestando el servicio de telefonía móvil, siendo el 70% de la población usuarios de teléfonos celulares está creando un alto congestionamiento de la red en la zona, haciendo difícil comunicarse en la propia red. El único radio enlace punto-punto disponible hacia la comunidad sufre inestabilidades en línea de vista (LOS) provocando pérdida de señal y cortando la transmisión del radio enlace inhabilitando las llamadas fuera de la comunidad. Otro factor importante es que la monopolización de la zona ocasiona que las llamadas a una red exterior (en este caso CLARO) sean mucho más costosas que las que se realizan en la misma red.

La solución para resolver esta problemática es la implementación de un radio enlace punto-punto desde el cerro LA SIRENA hacia la comunidad San Pedro del Norte con una distancia de 7.8 Km. Para conectar directamente dentro de la red de CLARO terminando en una radio base en la comunidad para brindar los servicios de telefonía móvil 2G y 3G.

Los principales beneficiados en este proyecto son los pobladores de la comunidad de San Pedro del Norte, ya que podrán realizar sus llamadas en ambas compañías reduciendo costos por llamadas, también siendo beneficiado la empresa CLARO porque amplía su cobertura de la red y expande su mercado y dejando una posible ampliación de servicios.

## V. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

- ❖ Implementar un enlace microondas como última milla, para la empresa de telecomunicaciones CLARO, para transportar el tráfico de la radio base ubicada en la comunidad de San Pedro del Norte.

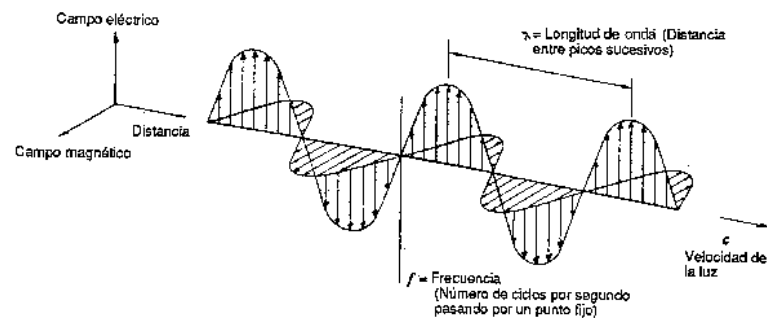
### OBJETIVO ESPECIFICO

- ❖ Realizar technical site survey (TSS), para establecer un enlace de microondas, desde la Sirena hacia la comunidad de San Pedro del Norte.
- ❖ Elaborar perfil de radio enlace utilizando la herramienta **PATHLOSS 5.0** y **RADIO MOBILE**.
- ❖ Evaluar mediante un estudio comparativo entre equipos propuestos para el radio enlace punto a punto.
- ❖ Realizar instalación de radio enlace La Sirena-San Pedro del Norte de Paiwas, utilizando equipo con mayor beneficio mediante estudio comparativo realizado con anterioridad en el presente documento.

## VI. MARCO TEÓRICO

### 1. ONDA ELECTROMAGNÉTICA (OEM)

Es una manifestación de la energía la cual ocurre mediante la interacción de cargas eléctricas dinámicas asociadas a una corriente de desplazamiento y otra de conducción; puesto que se mueven en el espacio libre, las cargas generan un campo magnético rotacional en torno a ellas, así como se puede observar en la figura 1.



**Figura 1: Ondas electromagnéticas**

### 2. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Es un conjunto de ondas que van desde las ondas con mayor longitud como las ondas de radio, hasta los que tienen menor longitud como los rayos Gamma. Entre estos dos límites están: las ondas de radio, las microondas, los infrarrojos, la luz visible, la luz ultravioleta y los rayos X, esta división se puede observar en la figura 2.

El objetivo de un sistema electrónico de comunicaciones es transferir información entre dos o más lugares. Esto se logra convirtiendo la información original a energía electromagnética, para transferirla a una o más estaciones receptoras, donde se reconvierte a su forma original la energía electromagnética se pueden propagar en forma de voltaje o corriente. La energía electromagnética se distribuye en un intervalo casi infinito de frecuencias el cual es llamado espectro electromagnético.

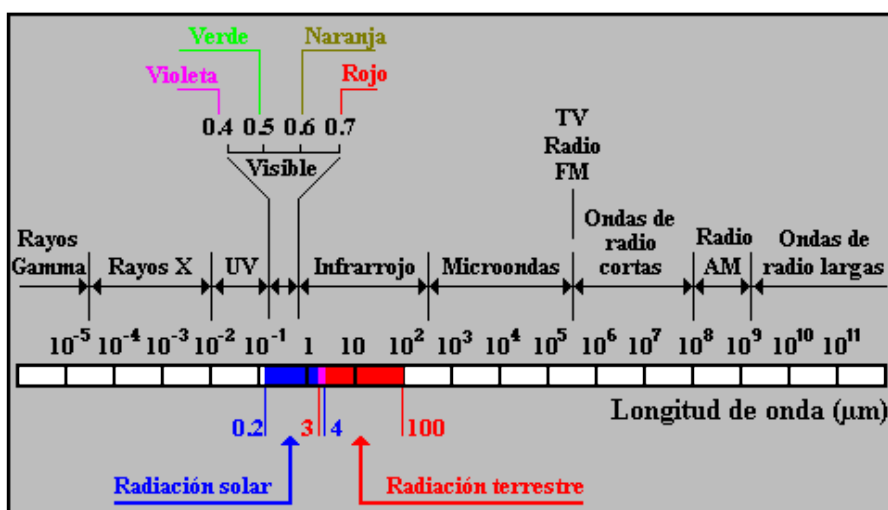


Figura 2: Espectro electromagnético de frecuencias.

### 3. FRECUENCIAS DE TRANSMISIÓN

El campo electromagnético a como se ve en la figura 1.2, el espectro de frecuencias se divide en subsecciones o bandas, cada banda tiene un nombre y rango límite. La designación de las bandas según el CCIR<sup>5</sup> (precursor de la ITU-R<sup>6</sup>), se resume en la tabla 1.1 de la siguiente manera:

Tabla 1: Designaciones de banda CCIR

Número de la banda	Rango de frecuencia	Designaciones
2	30 Hz – 300 Hz	ELF
3	300 Hz – 3 KHz	VF
4	3 KHz – 30 KHz	VLF
5	30 KHz – 300 KHz	LF
6	300 KHz – 3 MHz	MF
7	3 MHz – 30 MHz	HF
8	30 MHz – 300 MHz	VHF
9	300 MHz – 3 GHz	UHF
10	3 GHz – 30 GHz	SHF
11	30 GHz – 300 GHz	EHF
12	300 GHz – 3 THz	Luz Infrarroja
13	3 THz – 30 THz	Luz Infrarroja
14	30 THz – 300 THz	Luz Infrarroja
15	300 THz – 3 PHz	Luz Visible
16	3 PHz – 30 PHz	Luz Ultravioleta
17	30 PHz – 300 PHz	Rayos X
18	300 PHz – 3 EHz	Rayos Gama
19	3 EHz – 30 EHz	Rayos Cósmicos

<sup>5</sup> CCIR: Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones.

<sup>6</sup> ITU-R: Sector de las Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

#### 4. ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El espectro radioeléctrico es el conjunto de frecuencias que conforme a la tecnología disponible, pueden ser empleadas para emitir ondas que permitan transportar información. En la figura 3, se logra mostrar en que rangos del espectro radioeléctrico se envían ciertas fuentes de radiación.



**Figura 3: Espectro radioeléctrico**

#### 5. LONGITUD DE ONDA

La longitud de onda es la distancia que ocupa en el espacio un ciclo de una onda electromagnética, es decir, la distancia entre los puntos correspondientes en una onda repetitiva. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda, y directamente proporcional a la velocidad de la propagación de energía electromagnética en el espacio libre que es de  $3 \times 10^8$  m/s. la relación entre la frecuencia, velocidad de onda se expresa en forma matemática de la siguiente manera:

$$\lambda = c/f \quad (1.1)$$

Dónde:  $\lambda$  = longitud de onda (metros por ciclos).

$c$  = velocidad de la luz (300, 000, 000 metros por segundo).

$f$  = frecuencia (Hertz).



## 6. DEFINICIÓN DE MICROONDAS Y RADIOENLACE

### 6.1. MICROONDAS

Las microondas son ondas electromagnéticas<sup>7</sup> cuyas frecuencias van desde unos 300 MHz hasta 300 GHz o más. Por lo tanto, a causa de sus altas frecuencias, tienen longitudes de onda relativamente cortas, de ahí el nombre “micro” ondas. Las longitudes de frecuencias de microondas se pueden considerar menores a 60 cm, un poco mayores que la energía infrarroja.

### 6.2. RADIOENLACE

Por radioenlace se entiende el tramo de transmisión directa entre dos estaciones adyacentes, ya sean terminales o repetidoras de un sistema de microondas.

El enlace comprende los equipos correspondientes de las dos estaciones, como así mismo las antenas y el trayecto de propagación entre ambas.

Hay muchos tipos de sistemas de microondas funcionando a distancias que varían de 25 km a 6437 km. En general en los sistemas de microondas se requiere la operación dúplex<sup>8</sup> para esto cada banda de frecuencias se divide a la mitad, la mitad inferior se llama banda baja y la banda superior se llama banda alta.

Los radioenlaces se explotan en las bandas de frecuencias altas con la ventaja que la potencia recibida es proporcional al cuadrado de la frecuencia, también disminuye el ruido al aumentar la frecuencia. En este sentido a mayor frecuencia, mayor ancho de banda y mayor directividad en las antenas al emplearse.

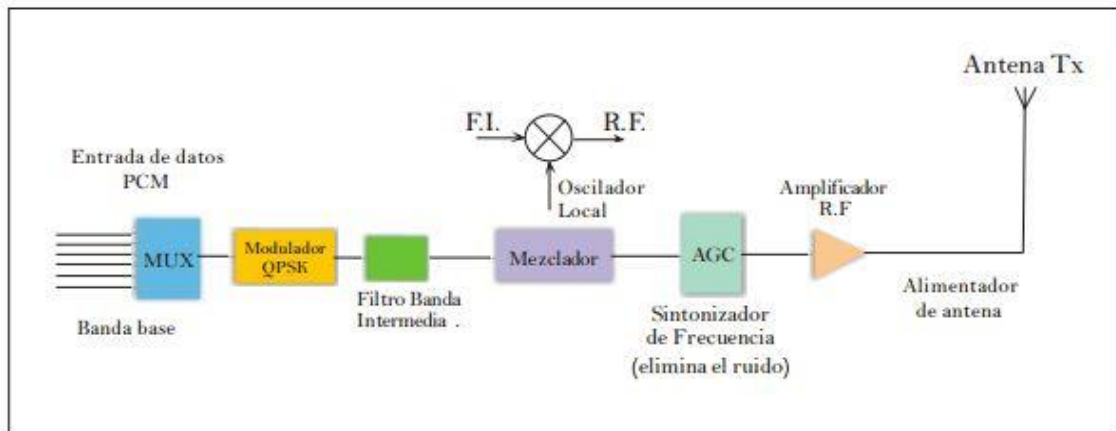
#### 6.2.1. Estructura de un radioenlace de microondas

Básicamente un radioenlace de microondas se divide en tres partes: Transmisor, Receptor y Canal Aéreo.

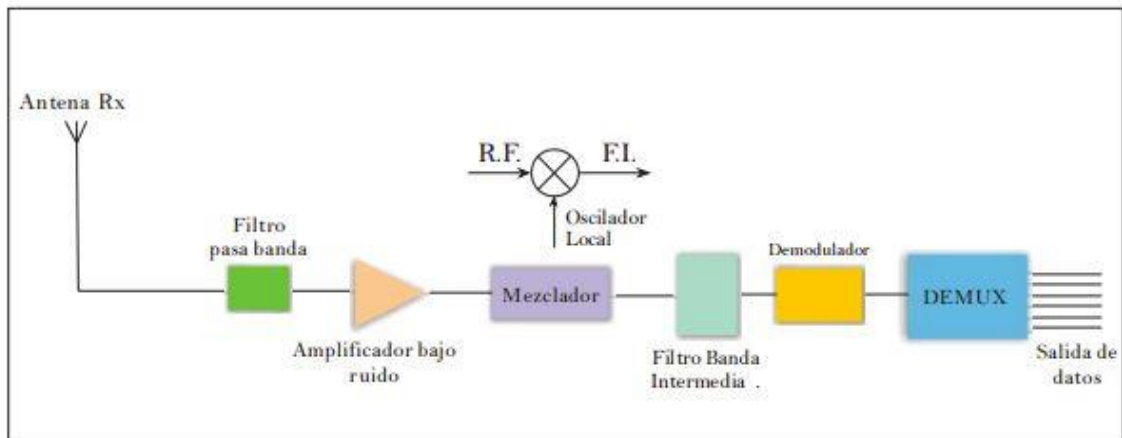
El transmisor es el responsable de modular una señal digital a la frecuencia utilizada para transmitir, como se logra apreciar en la figura 4. El canal aéreo representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor. El receptor es el responsable de capturar la señal que fue transmitida y llevarla de nuevo a su forma digital, se puede visualizar en la figura 5.

<sup>7</sup> **Onda electromagnética (OEM):** Es una manifestación de la energía la cual ocurre mediante la interacción de cargas eléctricas dinámicas asociadas a una corriente de desplazamiento y otra de conducción; puesto que se mueven en el espacio libre, las cargas generan un campo magnético rotacional en torno a ellas.

<sup>8</sup> **Dúplex:** Es un término utilizado en telecomunicación para definir un sistema que es capaz de mantener una comunicación bidireccional, enviando y recibiendo mensajes de forma simultánea.



**Figura 4: Diagrama de bloques de un transmisor**



**Figura 5: Diagrama de bloques de un receptor**

### 6.2.2. Ventajas de un radioenlace de microondas

- Los sistemas de radio no necesitan adquisiciones de derechos de vía entre estaciones.
- Cada estación requiere la compra o alquiler de solo una pequeña extensión de terreno.
- Por sus grandes frecuencias de operación, los sistemas de radio de microondas pueden llevar grandes cantidades de información.
- Las frecuencias altas equivalen a longitudes cortas de onda, que requieren antenas relativamente pequeñas.
- Las señales de radio se propagan con más facilidad entorno a obstáculos físicos, por ejemplo a través del agua o las montañas altas.
- Para amplificación se requieren menos repetidoras.
- Las distancias entre los centros de conmutación son menores.

- Se introducen tiempos mínimos de retardo<sup>9</sup>.
- Entre los canales de voz existe un mínimo de diafonía<sup>10</sup>.
- Son factores importantes la mayor fiabilidad y menor mantenimiento.
- Puede superarse las irregularidades del terreno.
- Puede aumentarse la separación entre repetidores, incrementando la altura de las torres.

### 6.2.3. Desventajas de un radioenlace de microondas

- Explotación restringida a tramos con línea de vista directa para los enlaces convencionales.
- Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras en las que hay que disponer de energía y acondicionamiento para los equipos y servicio de mantenimiento.
- La antena transmisora “contamina” electromagnéticamente su entorno.
- Las condiciones atmosféricas adversas pueden ocasionar desvanecimientos intensos con caídas en los índices de disponibilidad, lo que implica usar sistemas de diversidad con equipo auxiliar de conmutación incrementando los costos.
- Capacidad de transmisión de datos inferior a la de la fibra óptica.

## 6.3. PARTICULARIDADES DE UN SISTEMA DE RADIOENLACES DIGITALES

### 6.3.1. Sistemas de baja y media capacidad

Se puede considerar un sistema típico de baja capacidad si es capaz de manejar señal digital de hasta  $8 \times 2048$  kb/s ( $8 \text{ E1}^{11}$ ). Las bandas de frecuencia en que pueden trabajar estos equipos son generalmente de bajas frecuencias (0.8, 1.5 y 2 GHz), para enlaces rurales de mediana longitud y de altas frecuencias (15, 18 y 23 GHz), para enlaces de tipo urbano de longitudes cortas. Sin embargo, debe tenerse presente que la utilización de las bandas de frecuencias bajas están en la mayoría de las áreas reservada para otros sistemas y aplicaciones, por lo que en muchos casos obliga a trabajar en bandas de alta frecuencia a partir de la banda de 7 GHz para radioenlaces PDH<sup>12</sup> y SDH<sup>13</sup>.

---

<sup>9</sup> **Retardo:** Intervalo de tiempo que existe en el momento en el que cualquier punto asignado en una onda atraviesa dos puntos cualesquiera de un circuito de transmisión.

<sup>10</sup> **Diafonía:** Perturbación electromagnética producida en un canal de comunicación por el acoplamiento de este con otro u otros vecinos.

<sup>11</sup> **E1:** Formato de transmisión digital equivalente a 2048 millones de bits por segundo (2Mbps).

<sup>12</sup> **PDH:** Jerarquía digital plesiócrona compuesta en su nivel básico de 1 E1 (30+2 canales de 64kb/s).

<sup>13</sup> **SDH:** Jerarquía digital síncrona.

La modulación empleada en equipos de baja capacidad es QPSK<sup>14</sup> representada por la figura 6, aunque se han ensayado otras modulaciones de igual eficiencia espectral y mejor rendimiento en otros aspectos. Tal es el caso de la modulación CP-FSK<sup>15</sup>. Con modulación 4PSK<sup>16</sup> el espaciamiento entre portadoras es de 1.75 MHz para un canal de 2 Mb/s (30 canales de 64 kb/s) y se duplica cada vez que se incrementa al doble la velocidad de transmisión.

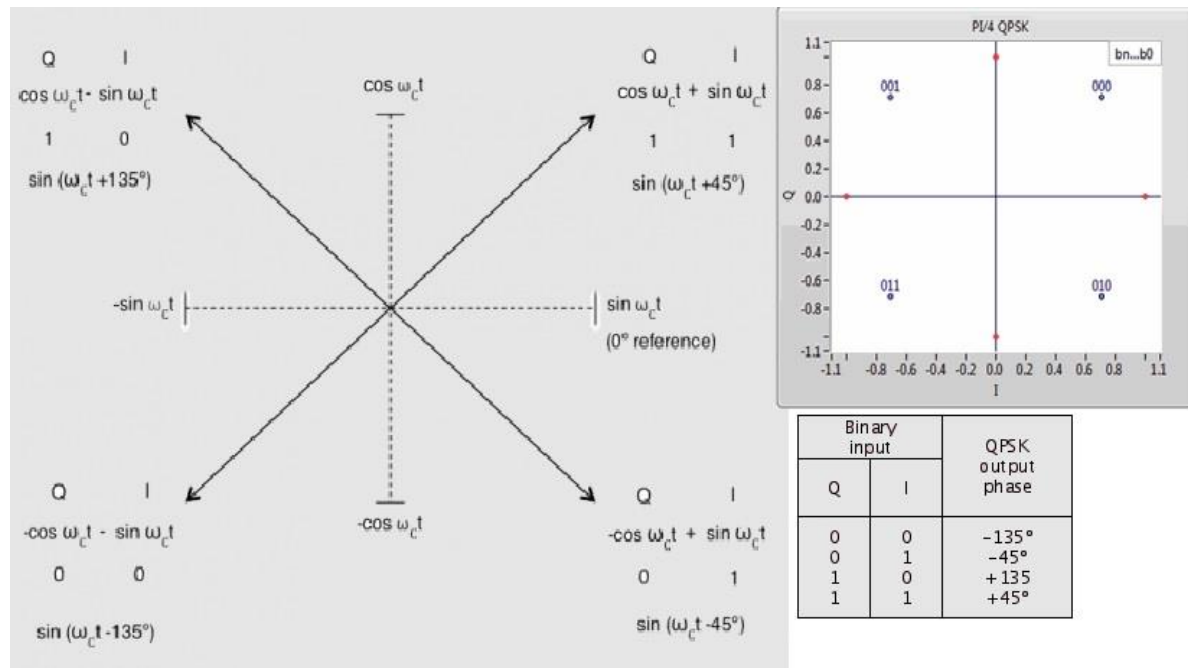


Figura 6: Esquema básico de modulación QPSK

Se interpreta como media capacidad a los equipos que trabajan con banda-base de 34 Mb/s. Los equipos de radioenlaces PDH, suelen disponer de una modulación 4PSK con un número de canales de servicio mayor, desde 2x64 kb/s a 704 kb/s (equivalente a 10+1 canales de 64 kb/s). Recurren a la codificación diferencial y aleatorización. No disponen, en general de métodos de corrección de errores. La detección de errores para obtener alarmas de calidad del enlace se encuentra asegurada mediante el uso de bits de paridad.

<sup>14</sup> QPSK: modulación por desplazamiento de fase en cuadratura.

<sup>15</sup> CP-SFK: modulación por desplazamiento de frecuencia de fase continua.

<sup>16</sup> 4PSK: modulación PSK con un valor angular de 4 valores positivos.

### 6.3.2. Sistemas de alta capacidad PDH (140 Mb/s)

Los sistemas de alta capacidad PDH involucran 4x34 (140 Mb/s). La modulación es 16QAM<sup>17</sup> o 64QAM, dependiendo del plan de canalización de frecuencias disponibles (80 y 60 MHz respectivamente). El número de canales de servicio es mayor a los equipos anteriores (desde 704 a 2048 kb/s). La longitud del codificador para aleatorización se incrementa en la medida que aumenta la velocidad del canal. Se dispone de un codificador diferencial y combinatorio.

Los equipos de alta capacidad han requerido numerosos esfuerzos de desarrollo para obtener un rendimiento similar a los radioenlaces analógicos. Dichos esfuerzos son aún mayores en los equipos de la tercera generación para la red sincrónica o SDH. Se recurre a métodos de modulación más eficientes desde el punto de vista del rendimiento espectral como 256QAM o TCM<sup>18</sup> e incrementar el número de canales hasta valores de 2x140 Mb/s o 4x140 Mb/s.

### 6.3.3. Sistemas SDH a 155 Mb/s

Los sistemas de radioenlaces digitales funcionando a la velocidad STM-1 a 155 Mb/s se han desarrollado para cumplir con la premisa de tener compatibilidad con los radioenlaces digitales PDH en cuanto al acceso, multiplexación, plan de frecuencias de la UIT-R, longitud entre estaciones, consumo, etc. Trabaja realizando multiplexación por división de tiempo, toma pequeñas ranuras de tiempo y las ubica en forma ordenada en una ranura de tiempo más grande, la sucesión de ranuras de tiempo se denominan trama. Dentro de la trama se encuentra la información que ingresa por los puertos más un relleno que sirve para demultiplexar la trama en el otro extremo.

Un sistema SDH debe de estar perfectamente sincronizado, de no ser así la reconstrucción de la trama en el extremo distante sería imposible, es por eso que un sistema SDH deberá tener incorporado placas y configuraciones que permitan que estén siempre sincronizados.

Algo muy importante es que SDH no nació para sustituir a PDH, sino para ser usado en conjunto como medio de transporte en los enlaces que requieren mayor capacidad.

---

<sup>17</sup> **QAM:** Modulación de amplitud en cuadratura, transporta 2 señales independientes mediante la modulación de una señal portadora tanto en amplitud como en fase.

<sup>18</sup> **TCM:** Modulación de código de Trellis.

### 6.3.4. Cálculo de un radioenlace de microondas

Es el proceso de transmisión y recepción de energía electromagnética a través de los enlaces de radio se establecen definiciones que tienen como objetivo delimitar los componentes y los fenómenos que de alguna forma intervienen en el tratamiento de las señales a transmitir. Esto permite conocer a diferentes escalas las características y el comportamiento que tiene cada elemento que forma parte del sistema de transmisión-recepción, lo cual facilita la visualización de todo el proceso en el momento de realizar el diseño de radioenlaces y observar alternativas de cambios y mejoras en los diferentes trayectos que se plantean.

#### 6.3.4.1. Pérdidas de propagación en el espacio libre

El espacio libre se define como un medio dieléctrico homogéneo, isótropo y alejado de cualquier obstáculo. Sin embargo, en nuestro entorno, estas circunstancias se dan pocas veces. La superficie de la tierra no es uniforme y además la tierra no es plana, sino que presenta una curvatura. A pesar de ello, es una práctica comúnmente aceptada generalizar y definir que si las antenas están dispuestas de forma conveniente, sin ningún obstáculo intermedio, podemos considerar que la única atenuación producida es la del espacio libre.

Una cantidad que generalmente se toma como referencia en el cálculo de radioenlaces, es la atenuación de la transmisión debida a las pérdidas básicas de propagación en el espacio libre, la cual se define como la pérdida incurrida por una onda electromagnética conforme se propaga en una línea recta a través del vacío, sin ninguna absorción o reflexión de energía de los objetos cercanos. Expresándose de la siguiente manera:

$$FSL = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi f d}{c} \right)^2 \quad (1.2)$$

Dónde: FSL = Pérdida de propagación en el espacio libre.

d = Distancia entre las estaciones en m.

$\lambda$  = Longitud de onda en m.

c = Velocidad de la luz en el espacio libre (3x10<sup>8</sup> m/s).

f = frecuencia de operación en Hz.

Llevando a dB se tiene:

$$FSL = 20\text{Log} \left( \frac{4\pi f d}{c} \right) = 20\text{Log} \left( \frac{4\pi}{c} \right) + 20\text{Log}(f) + 20\text{Log}(d) \quad (1.3)$$

Cuando la frecuencia se da en MHz y la distancia en Km:

$$FSL = 32.44 + 20\text{Log}(d) + 20\text{Log}(f) \quad (1.4)$$

Cuando la frecuencia se da en GHz y la distancia en Km:

$$FSL = 92.44 + 20\text{Log}(d) + 20\text{Log}(f) \quad (1.5)$$

#### 6.3.4.2. Pérdidas producidas por los gases de la atmósfera

La energía de las ondas electromagnéticas se ve absorbida por la presencia de O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O en el trayecto radioeléctrico, y puede ser elevada dependiendo de la frecuencia de la señal, especialmente para aquellas superiores a 10 GHz. En los trayectos próximos al suelo, la atenuación debida a estos efectos se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Aa = \gamma_a d \quad (1.6)$$

Dónde:  $\gamma$  = Atenuación específica (dB/Km).

$d$  = distancia.

El parámetro  $\gamma_a$  se desglosa en dos: las atenuaciones específicas del aire seco ( $\gamma_o$ ) y del vapor de agua ( $\gamma_w$ ) entonces se tiene:

$$\gamma_a = \gamma_w + \gamma_o \quad (1.7)$$

#### 6.3.4.3. Perdidas en las líneas de transmisión y conectores

Las líneas de transmisión se pueden utilizar para transportar señales de corriente continua o corriente directa de baja frecuencia (como electricidad de 60 Hz y señales de audio); también se pueden utilizar para propagar señales de frecuencias muy altas (como señales de radio).

Las líneas de transmisión de cables paralelos son las más apropiadas para aplicaciones de baja frecuencia. Sin embargo, en frecuencias altas, sus pérdidas por radiación y pérdidas dieléctricas son elevadas. Los cables coaxiales juegan un papel importante para estas aplicaciones, ya que con ellos se logran reducir las pérdidas y aislar las trayectorias de transmisión. Para acoplar un equipo transmisor y/o receptor cuya impedancia sea de 50Ω (es un valor típico), a una antena de 50Ω se requiere de una línea de transmisión coaxial con una impedancia de 50Ω (del teorema de máxima transferencia de potencia). Una vez resuelto el problema de acoplamiento, se debe analizar el problema de las pérdidas en la línea, para lo cual se tiene que:

$$\text{perdidas en la línea}_{\text{dB}} = 10\text{Log} \frac{\text{potencia de salida}}{\text{potencia de entrada}} \quad (1.8)$$

Las pérdidas que ocurren en la línea de transmisión no son constantes en todas las condiciones, su valor depende de factores como la frecuencia de operación y las pérdidas por unidad de longitud, tal como se puede ver en la siguiente ecuación:

$$LL = f_p Ll \quad (1.9)$$

En donde:

LL = Pérdidas en la línea de transmisión en dB/m.

$f_p$  = Pérdida por unidad de longitud en dB.

Ll = Longitud de la línea a utilizar en m.

Los conectores son dispositivos utilizados para conectar líneas de transmisión entre sí o para acoplar líneas de transmisión a un equipo. En sistemas reales los conectores introducen pérdidas adicionales a las ya descritas en las líneas de transmisión. Si todos los conectores son iguales, las pérdidas por conectores pueden calcularse a través de la siguiente ecuación:

$$PC = nP_c \quad (1.10)$$

En donde:

PC = Pérdida en conectores en dB.

n = Número de conectores a utilizar.

$P_c$  = Pérdida por conector en dB.

Los fabricantes de conectores proporcionan tablas en las cuales se expresan las pérdidas de cada modelo de conector a condiciones determinadas.

Por lo tanto, las pérdidas generales en la línea de transmisión y conectores, están dadas por la suma de ambas.

$$P_a = LL + PC \quad (1.11)$$

En donde:

$P_a$  = Pérdida en la línea de transmisión y conectores.

LL = Pérdida en la línea de transmisión en dB.

$P_c$  = Pérdida en conectores en dB.



#### 6.3.4.4. Potencia de entrada en el receptor

En todo sistema se debe considerar varios factores como la potencia del transmisor, ganancia de las antenas, pérdidas de cables, conectores y pérdidas en el espacio libre; para poder calcular la potencia útil en la entrada del receptor, la cual está dada por la siguiente expresión:

$$P_R = P_t - P_{aTx} - P_{aRx} + G_{Tx} + G_{Rx} - FSL \quad (1.12)$$

En donde:  $P_R$  = Potencia de entrada en el receptor en dB.

$P_t$  = Potencia del transmisor en dB.

$P_{aTx}$  = Pérdida en la línea de transmisión y conectores del transmisor en dB.

$P_{aRx}$  = Pérdida en la línea de transmisión y conectores del receptor en dB.

$G_{Tx}$  = Ganancia de la antena de transmisión en dBi.

$G_{Rx}$  = Ganancia de la antena de recepción en dBi.

#### 6.3.4.5. Margen de desvanecimiento

El cálculo de la potencia recibida en un enlace debe contrastarse con la sensibilidad del equipo. La confiabilidad del sistema se define como el porcentaje de tiempo referido a un año que el radioenlace se va a encontrar en funcionamiento. Para alcanzar este nivel de confiabilidad el sistema debe trabajar con cierto nivel de señal por encima del umbral de recepción de los equipos. En función de lo anteriormente expuesto, el margen de desvanecimiento (Fading) se define como la diferencia entre el mínimo nivel de umbral del receptor en el cual se hace posible la captación de una señal (suministrado por el fabricante y el nivel recibido (potencia de entrada en el receptor). Este factor puede ser calculado por:

$$F = P_R - S_R \quad (1.13)$$

Dónde:  $F$  = Margen de desvanecimiento.

$P_R$  = Potencia de entrada en el receptor.

$S_R$  = Sensibilidad del receptor (dato suministrado por el fabricante).

El margen de desvanecimiento es un parámetro crítico para la predicción del desempeño de un sistema, ya que determina su calidad y sensibilidad de los equipos que intervienen en un enlace. El comportamiento de las condiciones meteorológicas en el espacio que separa el transmisor y el receptor, que causan el desvanecimiento de la señal recibida, se puede agrupar para efectos probabilísticos en desvanecimiento plano, desvanecimiento selectivo y desvanecimiento total.

### 6.3.4.5.1. Desvanecimiento plano

En la recomendación UIT-R 530-10<sup>19</sup> se indica que la probabilidad de que el nivel de la señal recibida llegue a estar por debajo del nivel de la atenuación del espacio libre es:

$$P_p = P_o * 10^{-\left(\frac{F}{10}\right)} \quad (1.14)$$

Dónde:  $P_p$  = Desvanecimiento plano.

$P_o$  = Factor de ocurrencia de desvanecimiento.

F = Margen de desvanecimiento.

Existen varios métodos utilizados para evaluar este factor de ocurrencia de desvanecimiento  $P_o$ , los cuales son los siguientes:

#### 6.3.4.5.1.1. Método Vigants-Barnett

$$P_o = 0.3 * a * b * \frac{f}{4} * \left(\frac{d}{50}\right)^3 \quad (1.15)$$

Dónde:  $P_o$  = Factor de ocurrencia de desvanecimiento.

f = Frecuencia en GHz.

d = Distancia del enlace en Km.

a = Parámetro del clima dado en la tabla 1.2.

**Tabla 2: Parámetros de clima.**

A	Región Climática
4	Ecuatorial, regiones con alta temperatura y humedad.
3	Desérticas, fuertes variaciones térmicas desde el día hasta la noche.
2	Marítimas, regiones de climas bastantes secos.
1.5	Templados, veranos lluviosos e inviernos secos.
1	Templados, fuerte variación en el día de la temperatura, condiciones de propagación favorable en el verano.
0.5	Regiones altas y bastantes secas.
0.25	Montañosas y secas.
0.05	Polar, con baja temperatura y poca precipitación.

b = Parámetro de influencia del terreno determinado por:

$$b = \left(\frac{s}{15}\right)^{-1.3} \quad (1.16)$$

<sup>19</sup> **UIT-R 530-10:** Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa.

En donde:

s = Desviación estándar de las elevaciones del terreno, medidas por cada kilómetro de trayecto sin los puntos de las estaciones.

#### 6.3.4.5.1.2. Método Morita

Es representado en el reporte 338.3 de UIT-R de la siguiente forma:

$$P_o = \left(\frac{f}{4}\right)^{1.2} * Q * d^{3.5} \quad (1.17)$$

En donde: f = Frecuencia en GHz.

d = Distancia del enlace en Km.

Q = Es un factor dado por:

$$Q = 2.0 * 10^{-9} \text{ Para condiciones montañosas.} \quad (1.18)$$

$$Q = 5.1 * 10^{-9} \text{ Para terrenos planos.} \quad (1.20)$$

$$Q = 3.7 * 10^{-7} * h^{-0.5} \text{ Para terrenos sobre agua, donde h es la altura promedio sobre el terreno en m.} \quad (1.21)$$

#### 6.3.4.5.1.3. Método UIT-R 530-16<sup>20</sup>.

Como uno de los métodos modernos, la UIT-R presenta dos alternativas para el cálculo de  $P_o$ :

##### 6.3.4.5.1.3.1. Método para todos los porcentajes de tiempo pequeños

El desvanecimiento y el crecimiento multitrayecto solo han de calcularse para longitudes de trayecto mayores de 5 Km, y pueden fijarse en cero para los trayectos más cortos.

$$P_w = Kd^{3.4} (1 + |\varepsilon_p|)^{-1.03} f^{0.8} * 10^{-0.00076h_L - A/10} \% \quad (1.22)$$

Dónde:

f = frecuencia en GHz.

$h_L$  = altitud de la antena inferior (es decir, el valor menor de  $h_e$  y  $h_r$ ).

$\varepsilon_p$  = Magnitud de la inclinación del trayecto

---

**20 UIT-R 530-16:** Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa publicado en Julio del 2015.

$$|\varepsilon_p| = |h_r - h_e|/d \quad (1.23)$$

d = Longitud del trayecto en Km.

Y donde el factor geoclimático, K, se obtiene de la ecuación:

$$K = 10^{-4.4-0.0027dN_1}(10 + s_a)^{-0.46} \quad (1.24)$$

$dN_1$  = Es el gradiente de refractividad puntual en los 65m inferiores de la atmosfera que no se rebasa durante el 1% de un año medio.

$s_a$  = Es la rugosidad del terreno en la zona.

#### 6.3.4.5.1.3.2. Método para todos los porcentajes de tiempo

El método que se ofrece a continuación para la predicción del porcentaje de tiempo en que se excede una profundidad de desvanecimiento combina la distribución de desvanecimientos profundos que se da en el punto precedente con un procedimiento empírico de interpolación para desvanecimientos poco profundos de valor decreciente de hasta 0dB.

$$P_o = Kd^{3.4}(1 + |\varepsilon_p|)^{-1.03}f^{0.8} * 10^{-0.00076h_L} \% \quad (1.25)$$

#### 6.3.4.5.2. Desvanecimiento selectivo de frecuencia

Este tipo de desvanecimiento se produce fundamentalmente por la presencia de multitrayectos que afectan únicamente a algunos componentes del espectro de la señal. Existen diferentes métodos para predecir el desvanecimiento selectivo de frecuencia, la recomendación UIT-R 530, emplea las curvas características de los equipos de radio. Estas curvas describen como responde el equipo ante la presencia de interferencia intersimbólica, y no son más que la representación del comportamiento del equipo ante este tipo de desvanecimiento. Su valor en porcentaje se determina por:

$$P_s = 430\eta s_f \frac{\tau_m^2}{\tau_0} \quad (1.26)$$

Dónde:

$s_f$  = Factor de signatura. Dato suministrado por el fabricante.

$\tau_0$  = Es el tiempo de retraso usado para medir las curvas de signatura. Dato suministrado por el fabricante en  $\eta$ s.

$\tau_m$  = Tiempo, dado por la ecuación:

$$\tau_m = 0.7 \left( \frac{d}{50} \right)^{1.3} \quad (1.27)$$

$\eta$  = Factor de actividad multitrayecto, dado por la ecuación:

$$\eta = 1 - e^{-0.2 \left( \frac{P_0}{100} \right)^{0.75}} \quad (1.28)$$

#### 6.3.4.5.3. Desvanecimiento total

Se encuentra sumando algebraicamente el desvanecimiento plano y el desvanecimiento selectivo.

$$P_T = P_S + P_P \quad (1.29)$$

Dónde:

$P_P$  = Desvanecimiento plano.

$P_S$  = Desvanecimiento selectivo.

#### 6.3.4.6. Confiabilidad de un radioenlace

La confiabilidad en este sistema de comunicaciones, viene dada no solo por la confiabilidad de los equipos y sistemas de poder y clima, sino también por las condiciones del medio de propagación. Entonces las condiciones de espacio libre, es una situación ideal en que la señal transmitida se atenúa, solo por la expresión del frente de onda, cuyo valor en dB corresponde a:

$$A = 92.4 + 20 \log f + 20 \log d \quad (1.30)$$

Dónde:  $f$  = es la frecuencia de operación en GHz.

$d$  = es la distancia entre antenas en Km.

En condiciones reales el medio de transmisión entre las antenas es el aire, sometido a sus componentes de humedad, presión atmosférica, temperatura, polución, etc. Más aun, la condición de espacio libre se ve afectada por los múltiples obstáculos que impone la topografía del terreno, generando los fenómenos de reflexión, refracción y difracción de la onda electromagnética. Esto también indica que el conocido factor  $K=4/3$  es un valor medio para representar el índice de refracción, que en la realidad también es variable, por lo cual debe tenerse en cuenta su variabilidad en el análisis del despeje de la trayectoria de propagación (criterio  $K=2/3$ ).

Siendo tantos los factores que influyen, se ha llegado a establecer modelos generales que consideran las características de la zona en que se despliega un radioenlace, tales como sitios montañosos o llanuras, zonas tropicales o mediterráneas.

### 6.3.5. Propagación de microondas

Debido a que las frecuencias de operación de los enlaces punto a punto están en las bandas UHF y SHF, el tipo de propagación es por línea de vista. El termino Línea de Vista (LOS = Line Of Sight), se refiere a la radiación electromagnética o a la propagación de ondas acústicas. Dentro de este tipo de propagación de ondas electromagnéticas se incluyen las emisiones de luz que se propagan en línea recta.

En los sistemas de microondas las señales tienen variaciones que son debidas a cambios instantáneos en el medio de transmisión, dichas variaciones o desvanecimientos de la señal pueden disminuirse proyectando cuidadosamente los tramos de la trayectoria y calculando teóricamente las condiciones de propagación esperadas durante adversas condiciones del tiempo que puedan ocurrir.

La troposfera es un medio no homogéneo que presenta variaciones del índice de refracción con la altura y las condiciones meteorológicas. Esto es debido a una curvatura de los rayos conforme viajan por la troposfera, por lo que es necesario hablar un poco de refracción.

#### 6.3.5.1. Índice de refracción troposférica

Los efectos de la atmosfera, a las frecuencias de microondas se deben a las variaciones de la constante dieléctrica, o bien del índice de refracción ( $n$ ), del medio con respecto a la altura sobre la tierra. El índice de refracción es la relación de la velocidad de una onda electromagnética viajando en el vacío relativo a la velocidad con que viajara en un medio finito, expresado de la siguiente manera:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.31)$$

##### 6.3.5.1.1. Cociente de refractividad

El índice de refractividad siempre es mucho mayor que la unidad, pero para una onda de radio viaja en la troposfera solo es una pequeña fracción mayor que la unidad. Un ejemplo el índice de refracción promedio de la tierra es 1.000315, que es un número inconveniente, por eso se ha definido el coeficiente de refractividad ( $N$ ):

$$N = (n - 1) * 10^6 \quad (1.32)$$

Sustituyendo el valor del índice de refracción de la tierra  $n=1.000315$ , se obtiene un valor para  $N$  de 315N unidades. El cociente de refractividad para enlaces por debajo de 100 GHz, está definido como:

$$N = 77.6 P/T + 3.732 * 10^5 e/T^2 \quad (1.33)$$

Dónde:

P = Presión atmosférica en mbars.

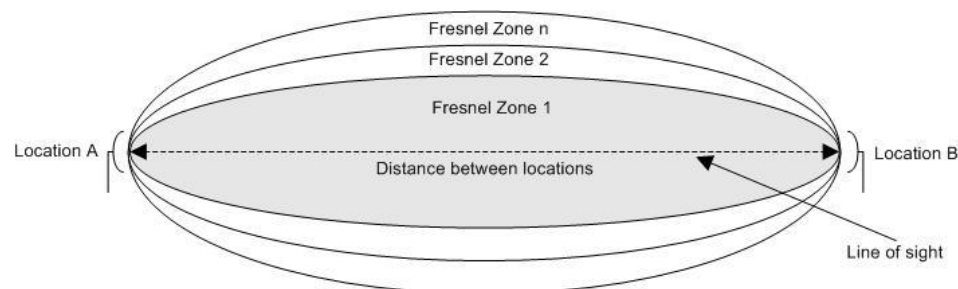
T = Temperatura absoluta en Kelvins.

e = Presión parcial del vapor de agua en mbars.

### 6.3.6. Zona de Fresnel

Se le llama zona de Fresnel al volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética, acústica, etc., y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los  $180^\circ$ . Estas zonas representan regiones donde las ondas secundarias tienen un exceso de recorrido, es decir recorren una distancia mayor que la línea de vista. Siendo elipsoides que rodean la ruta directa de la señal.

El lugar geométrico de la capa exterior del primer elipsoide está ubicado de tal manera que las señales que llegan al receptor de esta manera tienen un exceso de recorrido de  $\frac{1}{2}$  comparado con la ruta directa. Esta primera región ubicada dentro del primer elipsoide se denomina primera zona de Fresnel. La segunda zona abarca hasta un desfase de  $360^\circ$ , y es un segundo elipsoide que contiene al primero. Del mismo modo se obtienen las zonas superiores. Las distintas zonas de Fresnel se logran observar en la figura 7.



**Figura 7: Zonas de Fresnel**

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el 20%. Para el caso de radiocomunicaciones depende del valor de K (Curvatura de la tierra), considerando que para un  $K=4/3$  la primera zona de Fresnel debe estar despejada al 100% mientras que para un estudio con  $K=2/3$  se debe tener despejado el 60% de la primera zona de Fresnel.

Para establecer las zonas de Fresnel, primero debemos determinar la línea de vista de RF<sup>21</sup>, que de forma simple, es la línea recta que une los focos de las antenas transmisora y receptora. Como se representa en la figura 8.

La fórmula genérica de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$r_n = 547.723 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fd}} \quad (1.34)$$

Dónde:

$r_n$  = radio de la enésima zona de Fresnel ( $n=1, 2, 3\dots$ ).

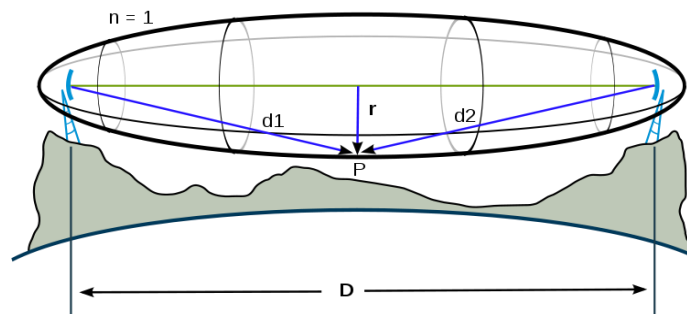
$d_1$  = distancia desde el transmisor al objeto en Km.

$d_2$  = distancia desde el objeto al receptor en Km.

$d$  = distancia total del enlace en Km.

$$d = d_1 + d_2 \quad (1.35)$$

$f$  = frecuencia en MHz.



**Figura 8: Elementos de la primera zona de Fresnel.**

---

**21 RF:** Radio Frecuencia.



## VII. TECHNICAL SITE SURVEY

Es una inspección al sitio, en donde se evalúan todos los aspectos dentro del enlace, ya que tiene como objetivo principal proveer la información necesaria para determinar el número y ubicación de los equipos del enlace para proveer la cobertura adecuada.

Los aspectos principales son:

- Coordenadas geográficas, son las ubicaciones de los sitios en el mapa las cuales ayudan a determinar la distancia total del enlace en línea recta. Verificar si existe línea de vista entre los sitios.
- Numero de antenas instaladas en las torres, se realiza un conteo de las antenas instaladas en la torre determinando la azimuth y dirección de cada una, además de las tierras para el aterrizaje de los equipos outdoor, obteniendo lo necesario para que sea evaluado por el departamento de Ingeniería para descartar sobrecarga de la torre.
- Condición de la estación, se verifica los aspectos como tipo de torre, existencia de planta eléctrica, acceso hacia la estación y condiciones meteorológicas.
- Disponibilidad de espacios, se determina las posibles ubicaciones de la IDU, además de la disponibilidad del punto eléctrico donde se puede tomar la alimentación para la nueva instalación sin generar sobrecarga en el rectificador.
- Estudio de frecuencias, este es uno de los aspectos más importante, descartando las frecuencias que están en uso en dicha estación que afecten al radio enlace existente como a la nueva instalación.
- Documento final, en él se refleja todo el estudio realizado presencialmente, sustentado esto con registro fotográfico, mapas de los espacios a utilizar: torre, racks de transmisión, rectificador, puntos de alimentación, tipo de soporte de antena, tipo de cable a utilizar, tipos de breaker y protector de cable (arrestor). La recopilación de datos debe ser precisa y sobre todos los aspectos relacionados para que sea una instalación sin fallas.

## 1. Inspección preliminar

*Tabla 3: Descripción de proyecto*

PROYECTO	LA SIRENA – SAN PEDRO DEL NORTE	
Sitio	Sitio A	Sitio B
Nombre	La Sirena	San Pedro del Norte
Ubicación	RAAS	RAAS
Fecha	Enero 2016	Enero 2016
Latitud	13° 01' 39.20" N	13° 03' 05.18" N
Longitud	084° 48' 27.30" O	084° 44' 23.64" O
Azimut	70.198	250.214
Altura de la torre	60 mts	42 mts
Distancia del enlace	7.8 Km	

LOS	Si	No
	X	

### COMENTARIOS

Se requiere instalar RADWIN 2000 D+ respectivamente en los sitios, protección 1+0, banda 5 GHz, ancho de banda 40 MHz, capacidad 160 Mbps.

## 2. Infraestructura existente sitio A



Vista de equipos desde la torre

Vista de antenas en la torre

	
<p>Rectificador</p>	<p>Banco de baterías</p>
	
<p>Breakers disponibles</p>	<p>Tierra dentro del gabinete</p>



## 2.1. Sistema existente en el sitio

*Tabla 4: Tipo de construcción sitio A*

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	
Tipo	Sala de transmisiones
Estructura	Perimetral
Comentario	Perímetro bloque de concreto



Tabla 5: Descripción de torre sitio A

TIPO DE TORRE			
Tipo	Tubular	Altura de torre	60 mts
Estructura	Auto-Soportada		
Comentarios	Se requiere instalar soporte de 1 mts para instalación de antena main de microondas de 0.9 hacia San Pedro del Norte con azimut 250.214.		

Tabla 6: Altura de antena sitio A

ALTURA DE ANTENA MICROONDA		
Detalles de antena	Main	Diversidad
Altura antena existente	N/A	N/A
Altura antena nueva	20 mts	N/A
Azimut antena nueva	70.198	N/A
Tipo de instalación	Antena nueva	N/A
Instalación de antena	Soporte	N/A
Comentarios	Se requiere instalar soporte de 1 mts para instalación de antena main de microondas de 0.9 hacia San Pedro del Norte con azimut 250.214.	

Tabla 7: Barra de tierras existentes en sitio A

BARRA DE TIERRAS EXISTENTES EN TORRE	
Altura de barra #1	3 mts
Altura de barra #2	48 mts
Altura de barra #3	30 mts
Altura de barra #4	N/A

Tabla 8: Barra de tierras nuevas en sitio A

BARRA DE TIERRAS NUEVAS EN TORRE	
Altura de barra #1	15 mts
Altura de barra #2	N/A
Altura de barra #3	N/A
Altura de barra #4	N/A

Tabla 9: Cableado para ODU'S en sitio A

CANTIDAD DE CABLE DE TIERRA PARA ODU'S		
CABLE DE TIERRA (POR ODU)	MTS CABLE	CANTIDAD DE ODUS
	8 mts	1

**Nota:** La altura debe ser medida con respecto al nivel del suelo. Medido en metros. La distancia entre la barra de tierra y la ODU no debe exceder los 10 metros.

Tabla 10: Cantidad de Clamps en sitio A

CANTIDAD DE CLAMPS EN ESCALERILLA	
Cantidad de clamps en escalerilla/ Vertical	0

Tabla 11: Cantidad de Cable STP a utilizar en sitio A

CANTIDAD DE CABLE STP PARA ODUS		
CABLE DE STP (POR ODU)	MTS CABLE	CANTIDAD DE ODUS
	50	1

## 2.2. Información de antena existente

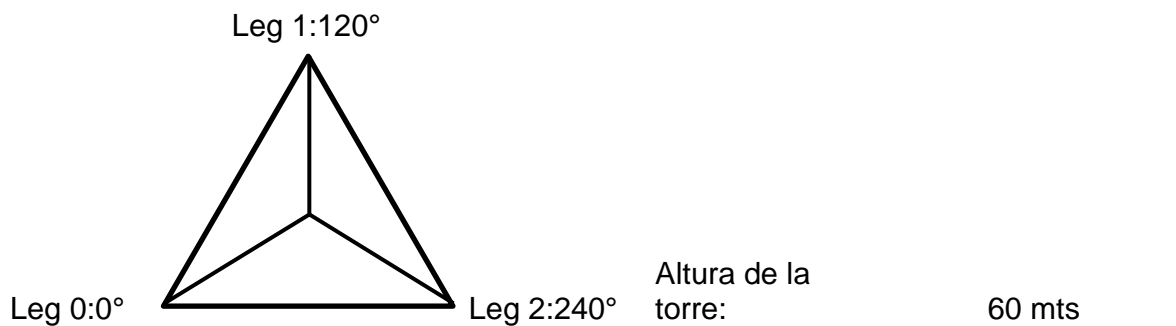


Tabla 12: Ubicación de antena nueva en sitio A

Tamaño	Altura	Ubicación	Existente / Nuevo
0.9 mts	20 mts	Leg 2	Nuevo

## 2.3. Información Outdoor / Indoor / Energía

Tabla 13: Disponibilidad en Shelter en sitio A

SHELTER			
	Si	No	Cantidad
Espacio en rack	X		
Barra de tierra	X		1
Breaker disponible	X		4
Comentarios			

Tabla 14: Descripción equipos existentes de energía en sitio A

ENERGIA						
Rectificador marca	EATON APR42					
Volteje nominal (V)	54.36					
Capacidad total (A)	150					
Consumo total (A)	10					
Breaker DC disponible	Si	X	No			
Cantidad breaker disponible	4					
Capacidad breaker disponible	230/400V – 10 A					
Breakers necesarios RADWIN 2000 D+	6 Amp	X	15 Amp		30 Amp	
Comentarios						

Tabla 15: Descripción de equipos indoor a instalar en sitio A

INDOOR						
Tipo de RADWIN a instalar	2000 C		2000 D+	X	5000	
Nuevo / Existente	Nuevo					
Slots disponibles y numero de slot	1					
Espacio para RG8 / STP	Si					

Tabla 16: Descripción de frecuencias a utilizar en sitio A

FRECUENCIAS		
Frecuencia nuevo link	TX	RX
Frecuencia (MHz)	5690	5690
Ancho de banda nuevo enlace (MHz)	40	40

## 2.4. Minuta

Tabla 17: Resumen de requerimientos en sitio A

No	RESUMEN SITE SURVEY	RESPONSABILIDADES	
	PUNTOS IMPORTANTES	CLARO	TELSSA
1	INDOOR		
2			
3	OUTDOOR		
4	Se requiere instalar soporte de 1 mts para instalación de antena main de microondas de 0.9 hacia San Pedro del Norte con azimut 250.214.		X
5	Se requiere instalar platina de tierra a 15 mts	X	
6			
7	MATERIALES		
8	Se requieren 50 mts de cable STP por línea		X
9	Se requiere 8 mts de cable de tierra por línea		X
10			

### 3. Infraestructura existente sitio B

	
<p>Fachada del sitio</p>	<p>Ubicación de la RBS</p>
	
<p>Linea de Vista (LOS)</p>	<p>Vista de torre en sitio</p>
	
<p>Vista de sitio desde torre</p>	<p>Tierras instaladas en torre</p>



### 3.1. Sistema existente en el sitio

**Tabla 18: Tipo de construcción sitio B**

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	
<b>Tipo</b>	Sala de transmisiones
<b>Estructura</b>	Perimetral
<b>Comentario</b>	Perímetro bloque de concreto

**Tabla 19: Descripción de torre sitio B**

TIPO DE TORRE			
Tipo	Tubular	Altura de torre	42 mts
Estructura	Auto-soportada		
Comentarios	Se requiere instalar soporte de 1 mts para instalación de antena main de microondas de 0.9 hacia San Pedro del Norte con azimut 70.20°.		

**Tabla 20: Altura de antena sitio B**

ALTURA DE ANTENA MICROONDA		
<b>Detalles de antena</b>	Main	Diversidad
<b>Altura antena existente</b>	N/A	N/A
<b>Altura antena nueva</b>	15 mts	N/A
<b>Azimut antena nueva</b>	250.214	N/A
<b>Tipo de instalación</b>	Antena nueva	N/A
<b>Instalación de antena</b>	Soporte de antena	N/A
<b>Comentarios</b>	Se requiere instalar soporte de 1 mts para instalación de antena main de microondas de 0.9 hacia San Pedro del Norte con azimut 70.20°.	

**Tabla 21: Barra de tierras existentes en sitio B**

BARRA DE TIERRAS EXISTENTES EN TORRE	
<b>Altura de barra #1</b>	10 mts
<b>Altura de barra #2</b>	20mts
<b>Altura de barra #3</b>	30 mts
<b>Altura de barra #4</b>	N/A

**Tabla 22: Barra de tierras nuevas en sitio B**

BARRA DE TIERRAS NUEVAS EN TORRE	
<b>Altura de barra #1</b>	N/A
<b>Altura de barra #2</b>	N/A
<b>Altura de barra #3</b>	N/A
<b>Altura de barra #4</b>	N/A

Tabla 23: Cableado para ODU'S en sitio B

CANTIDAD DE CABLE DE TIERRA PARA ODU'S		
CABLE DE TIERRA (POR ODU)	MTS CABLE	CANTIDAD DE ODUS
	8	1

**Nota:** La altura debe ser medida con respecto al nivel del suelo. Medido en metros. La distancia entre la barra de tierra y la ODU no debe exceder los 10 metros.

Tabla 24: Cantidad de Clamps en sitio B

CANTIDAD DE CLAMPS EN ESCALERILLA	
Cantidad de clamps en escalerilla/ Vertical	N/A

Tabla 25: Cantidad de Cable STP a utilizar en sitio B

CANTIDAD DE CABLE STP PARA ODUS		
CABLE DE STP (POR ODU)	MTS CABLE	CANTIDAD DE ODUS
	50	1

### 3.2. Información de antena existente



Tabla 26: Ubicación de antena nueva en sitio B

Tamaño	Altura	Ubicación	Existente / Nuevo
0.9	15	Leg 1	Nuevo

### 3.3. Información Outdoor / Indoor / Energía

Tabla 27: Disponibilidad en Shelter en sitio B

SHELTER			
	Si	No	Cantidad
Espacio en rack		X	
Barra de tierra		X	
Breaker disponible		X	
Comentarios	Se requiere instalar gabinete de transmisiones		

Tabla 28: Descripción equipos existentes de energía en sitio B

ENERGIA					
Rectificador marca	N/A				
Volteje nominal (V)	N/A				
Capacidad total (A)	N/A				
Consumo total (A)	N/A				
Breaker DC disponible	Si		No	X	
Cantidad breaker disponible	N/A				
Capacidad breaker disponible	N/A				
Breakers necesarios RADWIN 2000 D+	6 Amp	X	15 Amp		30 Amp
Comentarios	Se requiere instalar gabinete de transmisiones				

Tabla 29: Descripción de equipos indoor a instalar en sitio B

INDOOR					
Tipo de RADWIN a instalar	2000 C		2000 D+	X	5000
Nuevo / Existente	Nuevo				
Slots disponibles y numero de slot	N/A				
Espacio para STP	N/A				

Tabla 30: Descripción de frecuencias a utilizar en sitio B

FRECUENCIAS		
Frecuencia nuevo link	TX	RX
Frecuencia (MHz)	5690	5690
Ancho de banda nuevo enlace (MHz)	40	40

### 3.4. Minuta

Tabla 31: Resumen de requerimientos en sitio B

No	RESUMEN SITE SURVEY	RESPONSABILIDADES	
	PUNTOS IMPORTANTES	CLARO	TELSSA
1	INDOOR		
2	Se requiere instalación de gabinete de transmisiones	X	
3			
4	OUTDOOR		
5	Se requiere instalar soporte de 1 mts para instalación de antena main de microondas de 0.9 hacia San Pedro del Norte con azimut 70.20°.		X
6			
7	MATERIALES		
8	Se requieren 50 mts de cable STP por línea		X
9	Se requiere 8 mts de cable de tierra por línea		X
10			

## VIII. DISEÑO DE PROYECTO

El diseño del proyecto se divide en las siguientes secciones:

- Elaborar el diseño a través de las aplicaciones delimitadas al diseño, en este caso se hará por PATHLOSS 5.0 (software licenciado) y también por RADIO MOBILE (Software gratuito).
- Realizar el estudio económico de cual equipo es de mayor viabilidad con respecto al proyecto.
- Representar gráficamente la conexión que se realizara en el radio enlace para determinar la ruta de salida del sitio terminal.

### 1. PATHLOSS 5.0

#### PASO 1 - INTRODUZCA LA INFORMACION DEL SITIO

Haga clic en Ver – Lista de sitios para que aparezca el índice del sitio. También puede hacer clic en el botón de lista del sitio en la barra de herramientas (figura 9).



Figura 9: Barra de tareas de PATHLOSS 5.0

Vamos a agregar manualmente 2 sitios para nuestro proyecto. Hacer clic en la primera celda de la columna **Nombre del sitio (Site Name)**, introducir el nombre del sitio y con la tecla TAB nos moveremos hacia las otras celdas, introduciremos los datos de latitud y longitud del sitio (figura 10). Esta es la información mínima para un sitio. Hacemos el mismo procedimiento para agregar el 2do sitio.

Site List							
Import Export Edit Mark sites Create Group Update PL5 files Thematic mapping							
	Site name	Latitude	Longitude	Call sign	Station code	Elevation (m)	Tower height (m)
1	San Pedro del Norte	13 03 05.18 N	084 44 23.64 W			222.0	60.0
2	Cerro La Sirena	13 01 39.20 N	084 48 27.30 W			543.0	60.0
3							unknown
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							

Figura 10: Introducción de datos de los sitios

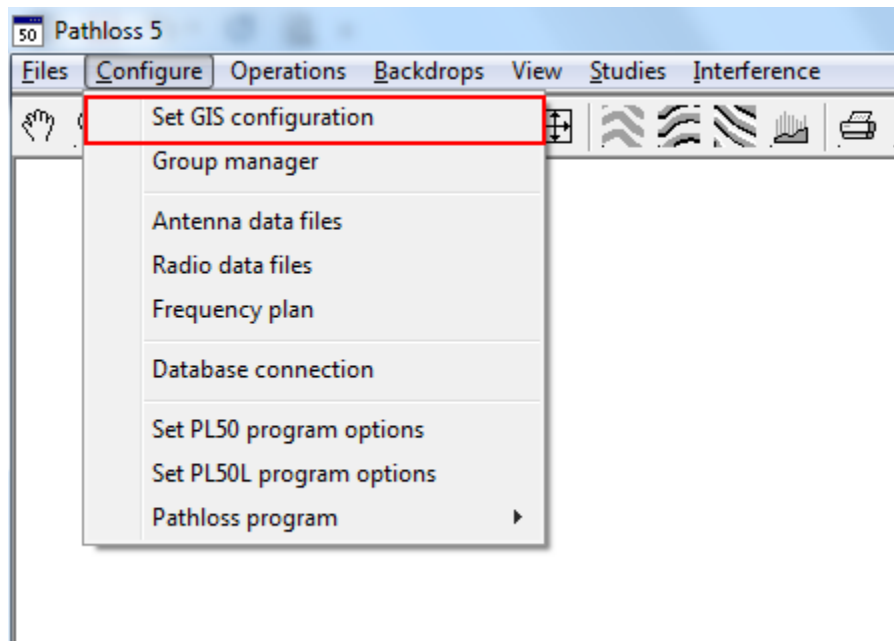
Al cerrar la lista de los sitios, estos se mostraran en la ventana GIS.

Los sitios también pueden ser importados desde un archivo CSV o cualquier archivo de texto.

## PASO 2 – CONFIGURAR LOS DATOS DEL TERRENO

Los datos del terreno están disponibles de muchas fuentes y en una amplia variedad de formatos. Para este proyecto vamos a utilizar los datos de terreno SRTM.

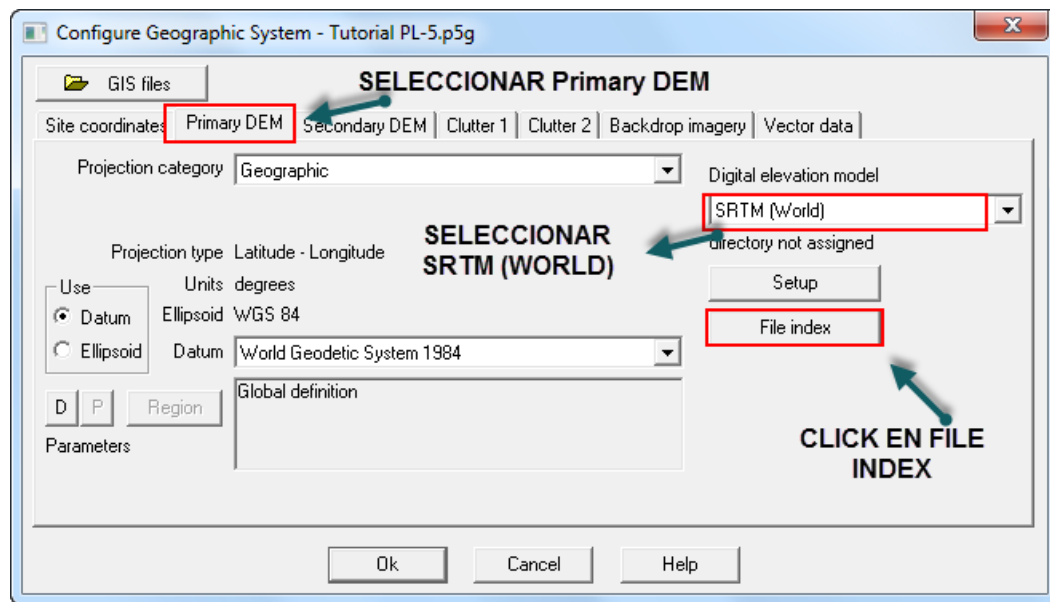
Hacer clic en **Configurar – Configurar configuración GIS** (figura 11).



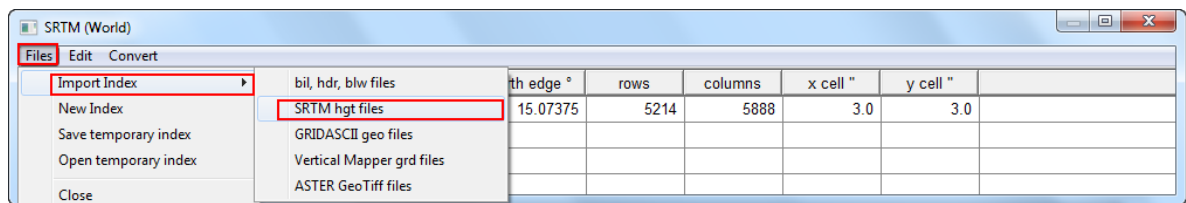
*Figura 11: Configuración geográfica de sitios*

Hacer clic en el **DEM Primaria**, una vez en esta pestaña, seleccionamos **SRTM (WORLD)** en el menu desplegable del modelo de elevación digital. (Figura 12).

Hacer clic en **File index** y nos aparecera una nueva ventana. En el menu de la nueva ventana, hacer clic en **File – Import Index – SRTM hgt files**. (Figura 13).



**Figura 12: Introducción de datos geográficos de sitios**

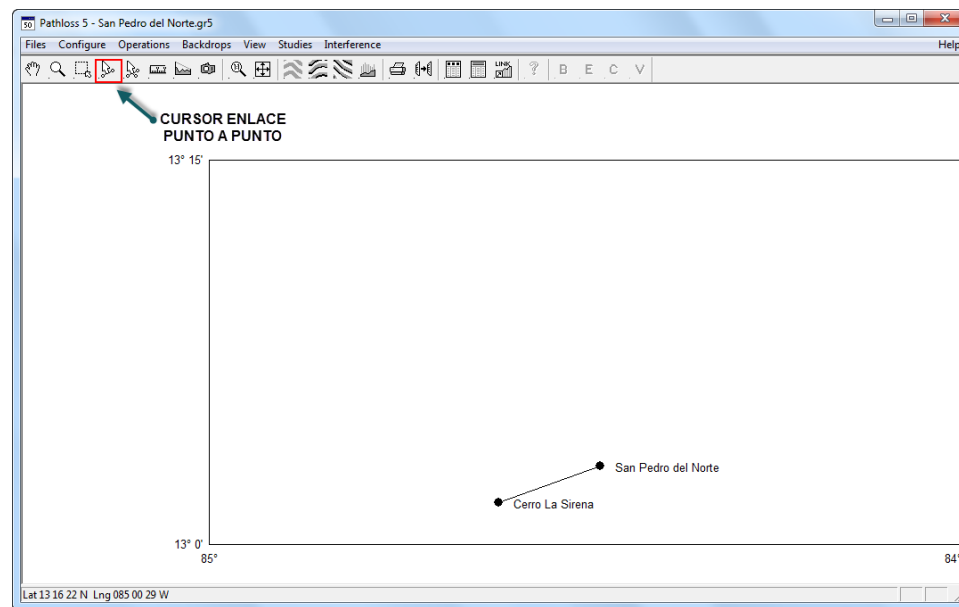


**Figura 13: Importación de archivos geográficos**

### PASO 3 – CREAR LOS ENLACES

Seleccionamos en cursor de enlace punto a punto de la barra de herramientas (figura 14), este se utiliza para crear e interactuar con los enlaces.

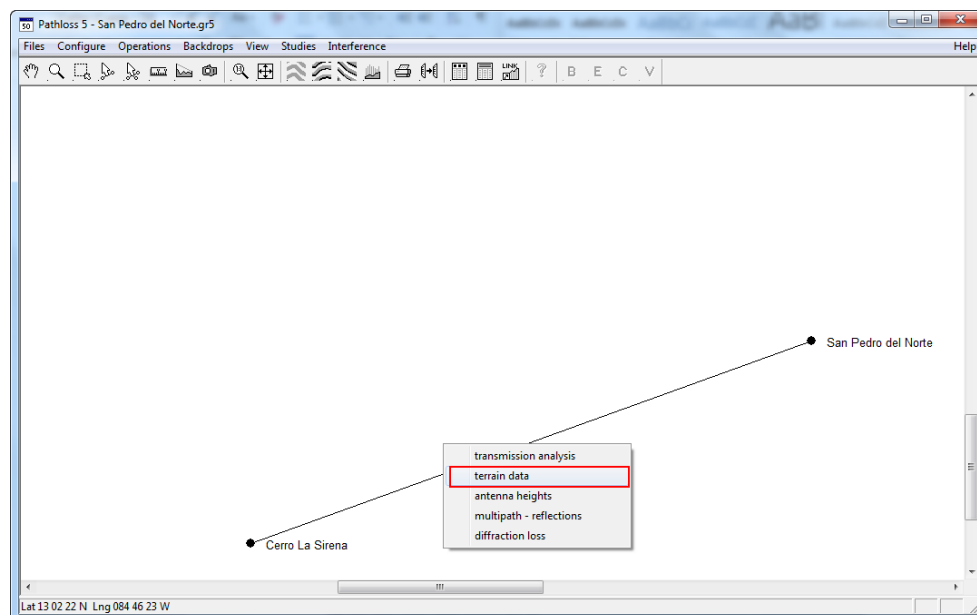
Hacer clic izquierdo en uno de los sitios y arrastrar al otro sitio para crear el enlace. Una vez creado el enlace daremos clic derecho sobre el enlace para acceder a los módulos de la herramienta de diseño de enlace.



**Figura 14: Enlace punto a punto**

#### PASO 4 – DISEÑAR EL ENLACE

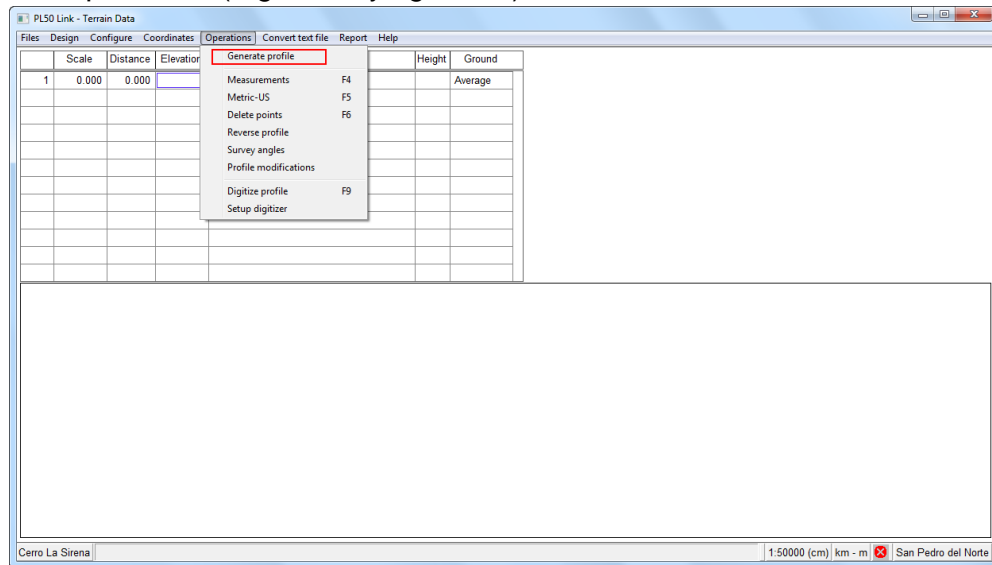
El primer paso en el diseño del enlace es para generar un perfil de ruta. Hacemos clic derecho en el enlace, seleccionamos **terrain data** en el menú emergente como se muestra en la figura 15.



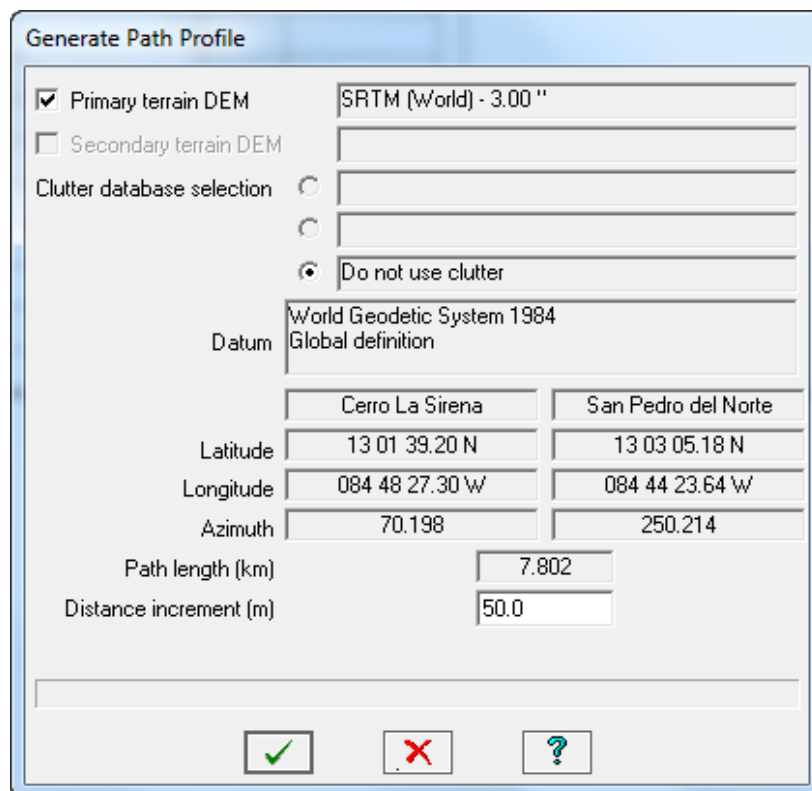
**Figura 15: Menú desplegable del enlace**

Esto abre el módulo de datos del terreno en la herramienta de diseño del enlace. Hacer clic en **Operations – Generate Profile**, aquí nos aseguramos que este

seleccionado **Primary terrain DEM** y que la base de datos del terreno creado al comienzo aparezcan. (Figura 16 y figura 17).



**Figura 16: Generar perfil**

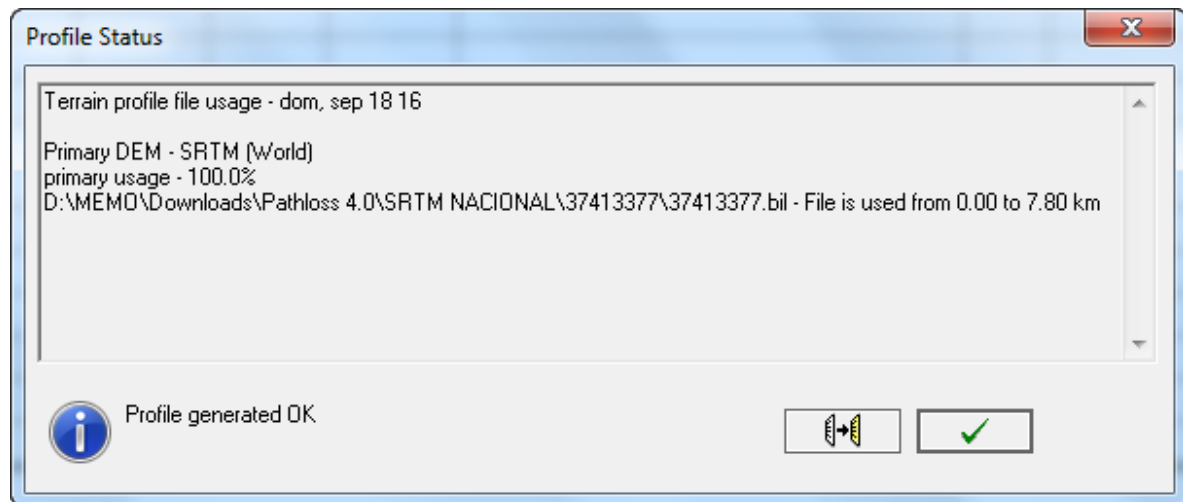


**Figura 17: Generar perfil**

Una vez finalizado el paso anterior, aparecerá una ventana de notificación, en esta debemos revisar los datos que nos presenta, debe mostrar, primary usage – 100%,



como aparece en la figura 18, si no muestra este valor o es inferior debemos revisar el archivo de la lista de sitio y el directorio para descartar algún error.

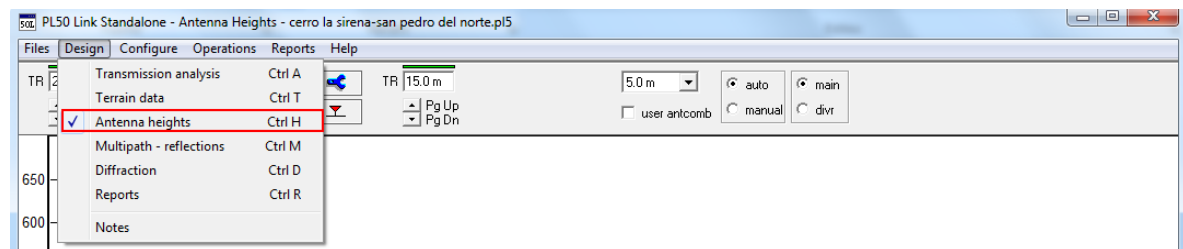


*Figura 18: Revisión general del sitio para generar perfil*

## PASO 5 - CONFIGURACION DE CARACTERISTICAS DEL ENLACE

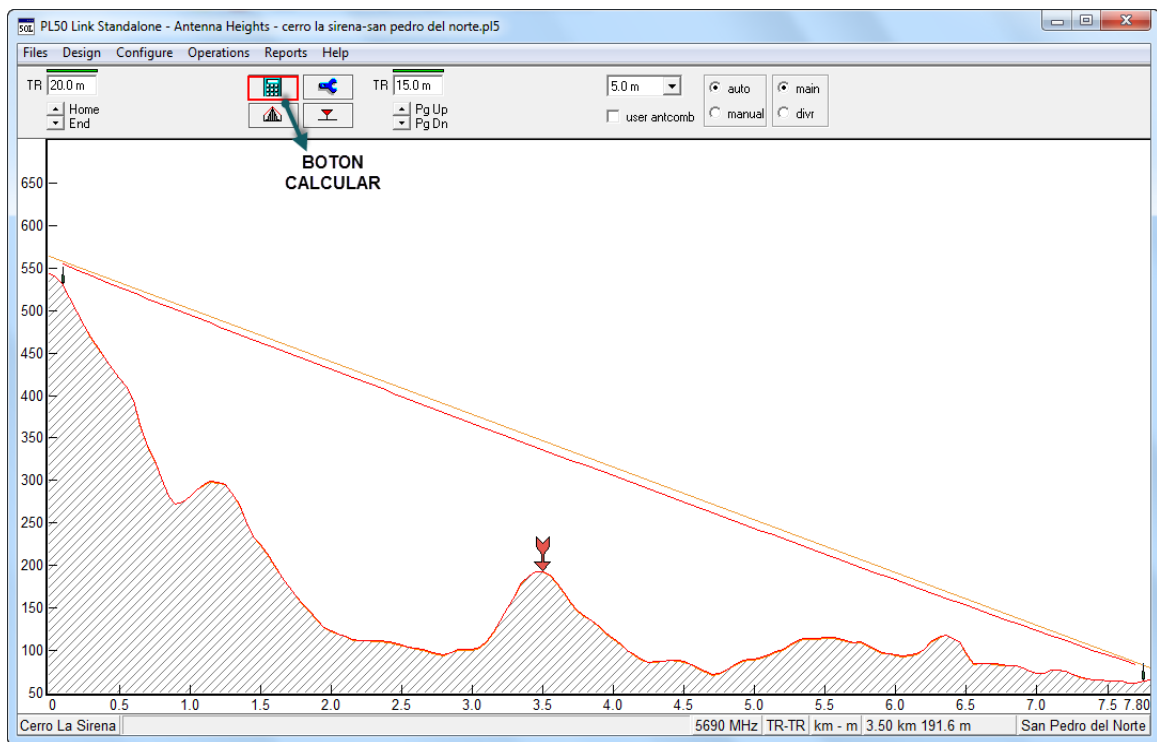
### Altura de antena

Una vez que el perfil se ha generado, se puede calcular las alturas de las antenas. Hacemos clic en Diseño – alturas de antena para entrar al módulo de altura de antenas. (Figura 19).



*Figura 19: Configuración de altura de antenas*

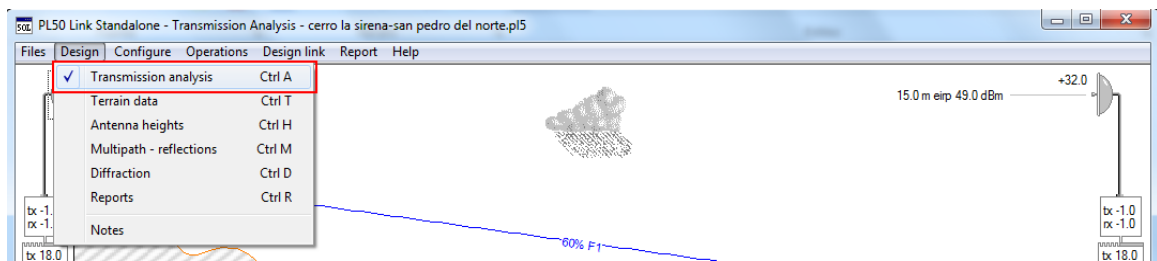
Hacemos clic en el botón calcular, para calcular las alturas de antena que satisfacen los criterios del terreno, como se representa en la figura 20.



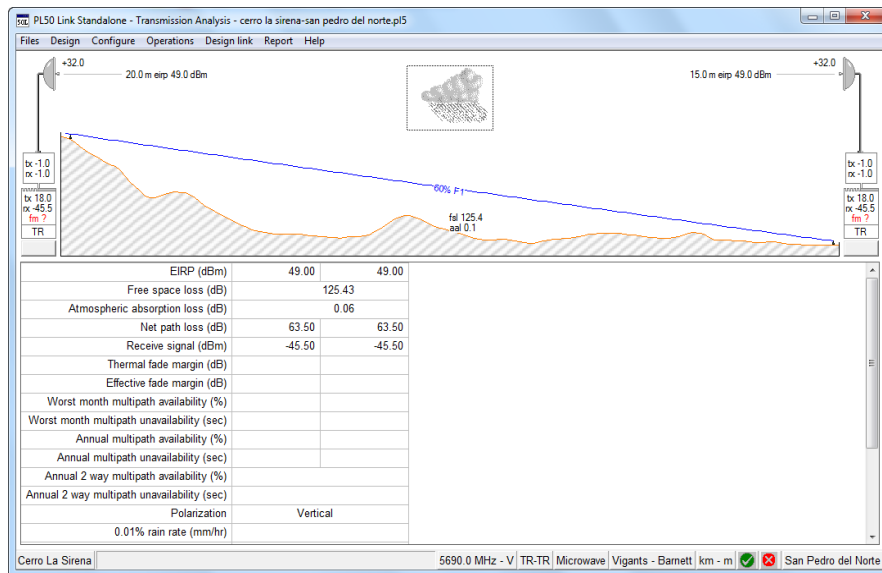
**Figura 20: Calculo de altura de antenas**

## Análisis de Transmisión

Hacer clic en Diseño – Análisis de transmisión (figura 21) para abrir la sección del diseño lógico del enlace (figura 22).



**Figura 21: Análisis de transmisión**



**Figura 22: Análisis de transmisión del enlace**

Los datos mínimos requeridos para un cálculo de la fiabilidad completa son los siguientes:

- Frecuencia.
- Ganancia de la antena.
- Potencia TX.
- Nivel de umbral RX.
- Ruta de la información. (rugosidad, factor climático, temperatura).

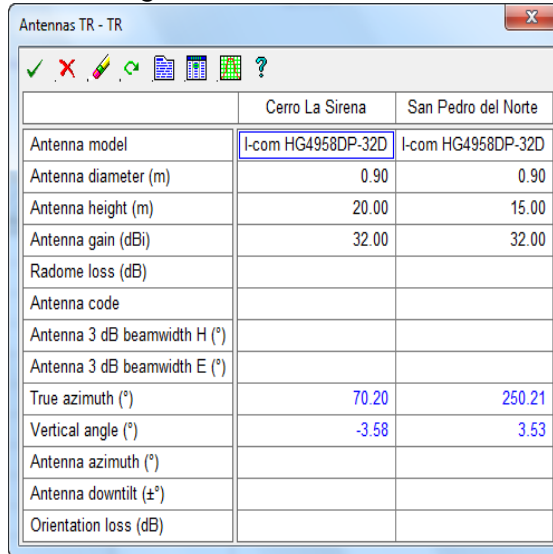
Para este último punto debemos hacer clic en la “nube de lluvia” donde nos aparecerá un cuadro de dialogo como el de la figura 23:

Parameter	Value
Rain calculation	On
Path center latitude	13 02 22.19 N
Path center longitude	084 46 25.47 W
Frequency (MHz)	5690.00
Polarization	Vertical
Rain rate data source	ITU-R P.837-5 database
Rp 0.01% (mm/hr) - ITU837-3	
Rp 0.01% (mm/hr) - ITU837-5	
Rp 0.01% (mm/hr) - file	145.00
Rain file	itu_p.rai
Rain region	ITU Region P
Rp 0.01% (mm/hr) - user	
Alpha	
Beta	

**Figura 23: Definición de afectaciones climáticas**

Introducimos la frecuencia en MHz y luego damos clic en el botón verde de verificación.

Una vez finalizado este proceso, configuramos los valores de las antenas. Hacemos clic en el gráfico de la antena situado a los lados de la pantalla y nos aparecerá un cuadro de dialogo como en la figura 24:

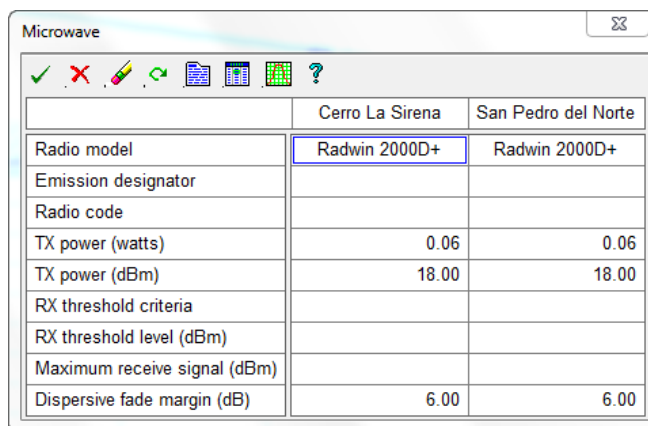


	Cerro La Sirena	San Pedro del Norte
Antenna model	I-com HG4958DP-32D	I-com HG4958DP-32D
Antenna diameter (m)	0.90	0.90
Antenna height (m)	20.00	15.00
Antenna gain (dBi)	32.00	32.00
Radome loss (dB)		
Antenna code		
Antenna 3 dB beamwidth H (°)		
Antenna 3 dB beamwidth E (°)		
True azimuth (°)	70.20	250.21
Vertical angle (°)	-3.58	3.53
Antenna azimuth (°)		
Antenna downtilt (±°)		
Orientation loss (dB)		

**Figura 24: Selección de parámetros de antena**

Introducimos la ganancia de la antena en los campos correspondientes, estos valores lo debemos especificar tanto para el sitio 1 como para el sitio 2, una vez realizamos esto, damos clic en el botón de verificación.

Ahora seguiremos con la configuración de los radios (ODU), damos clic en la imagen de radio ubicada a los lados de la pantalla, una en cada sitio, nos aparecerá como en la figura 25:



	Cerro La Sirena	San Pedro del Norte
Radio model	Radwin 2000D+	Radwin 2000D+
Emission designator		
Radio code		
TX power (watts)	0.06	0.06
TX power (dBm)	18.00	18.00
RX threshold criteria		
RX threshold level (dBm)		
Maximum receive signal (dBm)		
Dispersive fade margin (dB)	6.00	6.00

**Figura 25: Selección de modelo de radio**

Aquí debemos introducir como requerimiento mínimo, el modelo del radio, potencia en dbm o en watts y el fade margin (db). Damos clic en el botón de confirmación.

A continuación damos clic en el grafico del perfil de terreno que aparece en el centro de la pantalla, nos aparecerá el siguiente cuadro de diálogo (figura 26):

Path Profile Data (Vigants - Barnett)	
Frequency (MHz)	5690.00
Polarization	Vertical
Path length (km)	7.82
Field margin (dB)	
Diffraction loss (dB)	
Fade occurrence factor (Po)	
Path center latitude	13 02 22.19 N
Path center longitude	084 46 25.47 W
Climatic factor	2.00
Terrain roughness (m)	
C factor	
Average annual temperature (°C)	10.00
Dispersive fade occurrence factor	1.00

**Figura 26: Datos generales del perfil de radio enlace**

Los datos que aparecen en azul son datos que ya ingresamos en pasos anteriores, a excepción de la frecuencia que se la debemos definir nuevamente y de igual manera definimos la polaridad del enlace. Damos clic en el botón de confirmación.

## PASO 6 – GENERACION DE INFORMES

Para poder generar el reporte final, damos clic en **Diseño – reportes** y nos aparecerá como aparece en la figura 27:

Batch reports - cerro la sirena-san pedro del norte.pl5

Print: Select reports to print

- ☒ Path profile
- ☐ Transmission details
- ☐ Transmission summary
- ☐ Terrain profile listing
- ☐ Antenna height clearance
- ☐ Antenna orientation
- ☐ Diffraction loss
- ☐ OHLOSS
- ☐ Reflective plane analysis
- ☐ Ray trace analysis
- ☐ Print selected reports
- ☐ Multiselect files to print

Clearance tolerance (m): 10.0

Path profile format: Flat earth display

Fresnel zones:

Zone	Frequency (MHz)	Type
1	5690.00	Main
2		Main
3		Main
4		Main

Expressed as:

- ☒ % first Fresnel zone (%F1)
- ☐ Fresnel number (Fn)

Type:

- ☐ end to end
- ☐ between horizons

earth radius factor (K): 1.33

- ☒ use clearance criteria
- ☒ show major grid lines
- ☐ show minor grid lines
- ☒ show rays
- ☐ preview profile

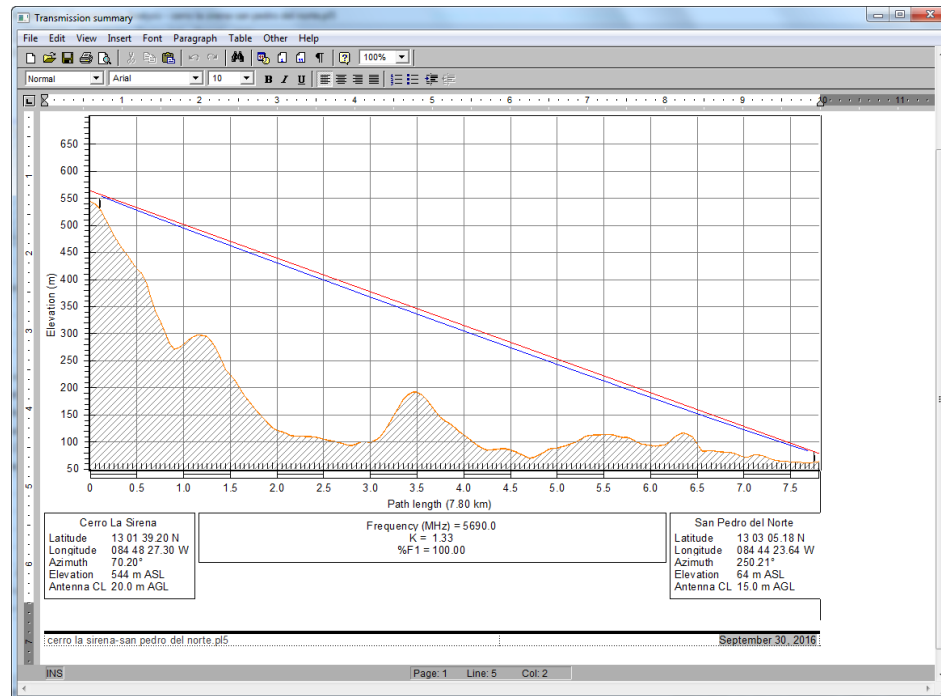
Company name: \_\_\_\_\_

Project name: \_\_\_\_\_

☐ ☐ ☐ Edit report formats

**Figura 27: Generación de perfil general**

Seleccionamos **Path profile** y damos clic en la flecha azul situada al lado izquierdo y nos generara un cuadro de dialogo que es un editor parecido a Word para poder editar el reporte antes de guardarlo o imprimirlo.



**Figura 28: Perfil general del radio enlace**

## 2. RADIO MOBILE

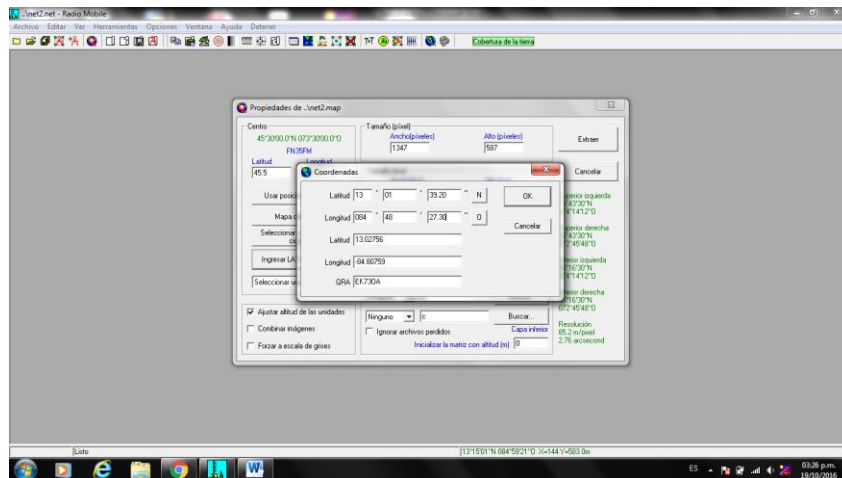
### PASO 1 – Definición del espacio de trabajo

Iniciamos Radio Mobile el cual nos presentara la siguiente ventana, con este software nos permitirá realizar el estudio del enlace de manera gratuita.

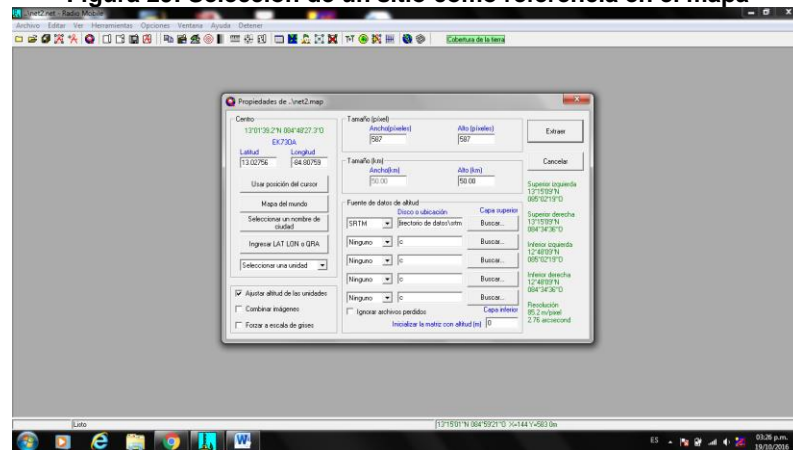
Para poder ingresar los datos del contorno en donde se instalara el radio enlace realizamos lo siguiente:

- Archivo
- Propiedades del mapa

En la ventana de propiedades del mapa introduciremos los datos de las coordenadas (figura 29) de uno de los sitios para tener como referencia para el diseño, determinando el tamaño de la imagen a trabajar (figura 30).

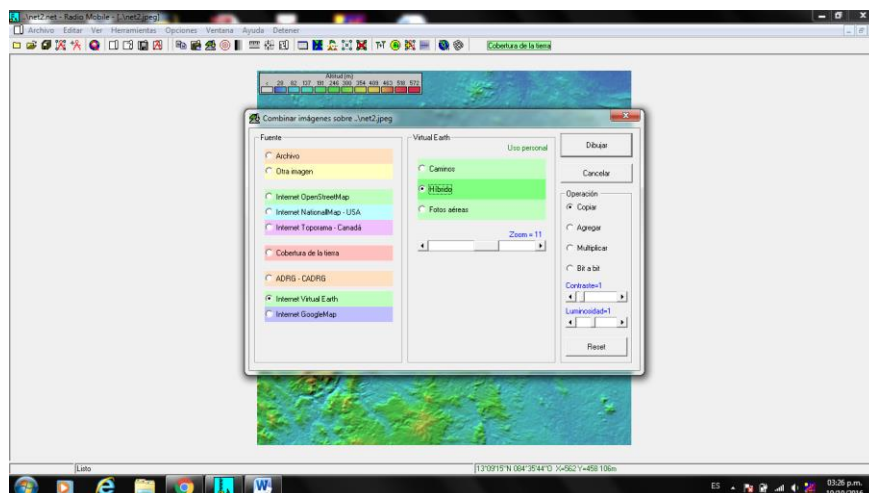


**Figura 29: Selección de un sitio como referencia en el mapa**



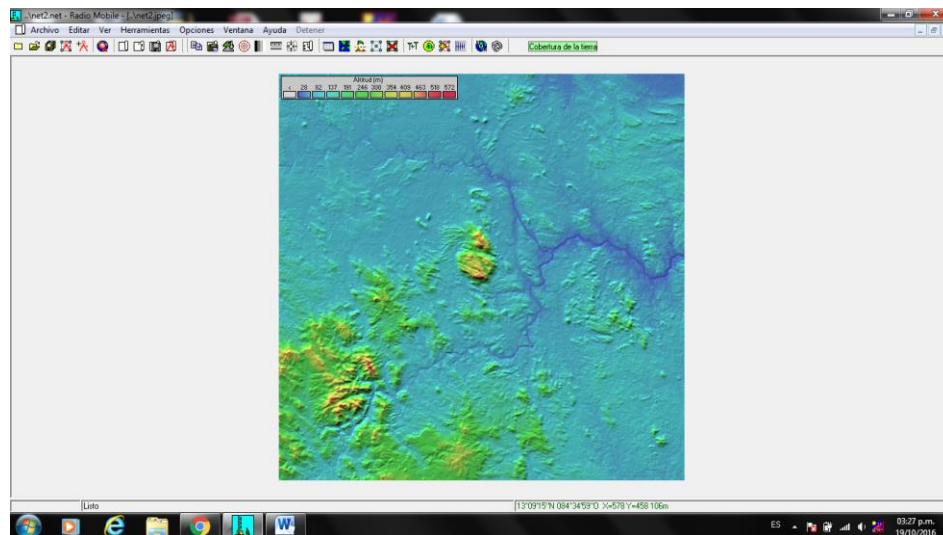
**Figura 30: Selección de tamaño de la imagen a trabajar**

En la ventana de combinar imágenes (figura 31) nos permite seleccionar entre una imagen satelital, una imagen donde salgan los caminos o una imagen donde salga las diferentes alturas del terreno.



**Figura 31: Selección del tipo de combinación de imágenes en el mapa**

Al final nos mostrara una imagen de esta manera en el cual sale a detalle la zona donde se trabajará, como aparece en la figura 32:



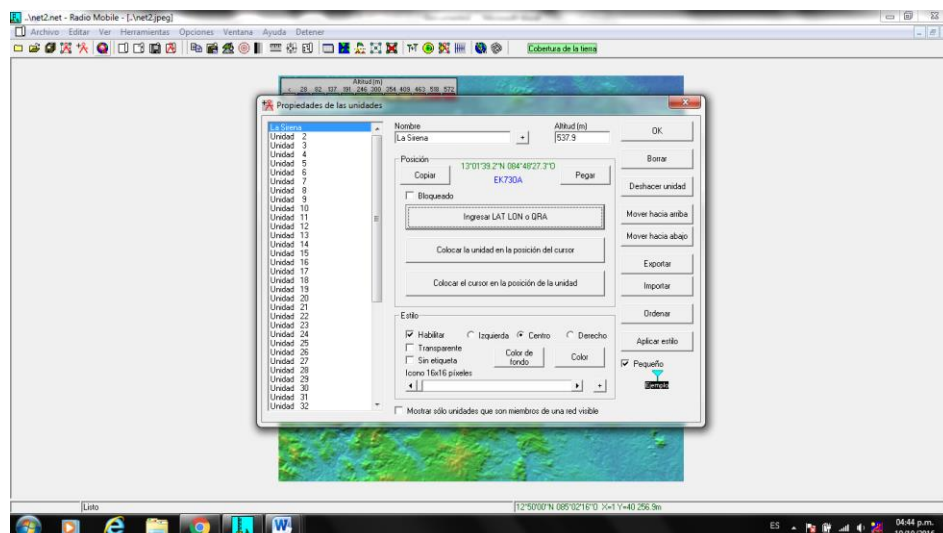
**Figura 32: Imagen del sitio a trabajar desde Radio Mobile**

## PASO 2 – Introducción de unidades

Al tener la imagen de la zona a trabajar, se selecciona las propiedades de la unidad.

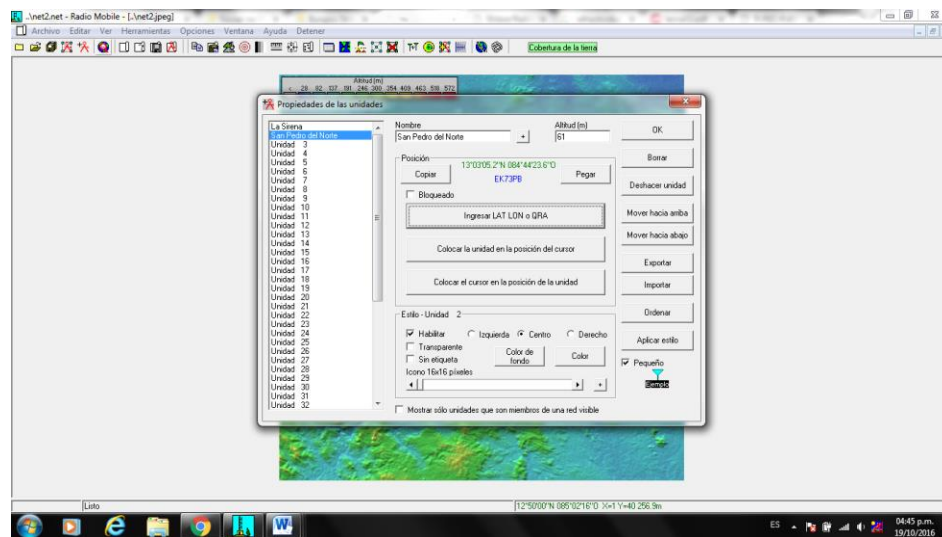
- Archivo
- Propiedades de unidades

En esta ventana se agrega con nombre, coordenada exacta de los sitios (uno a uno) y así ella determinará la altura del terreno como se muestra en las figuras 33 y figura 34.



**Figura 33: Introducción de datos de ubicación del sitio LA SIRENA**

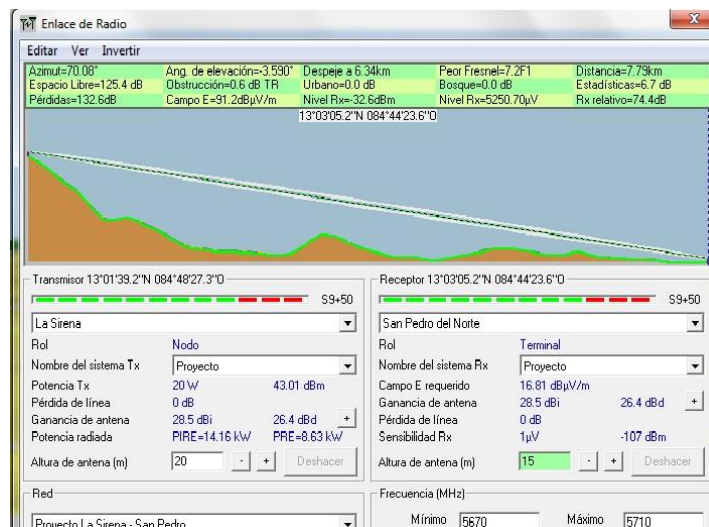




**Figura 34: Introducción de datos de ubicación del sitio SAN PEDRO DEL NORTE**

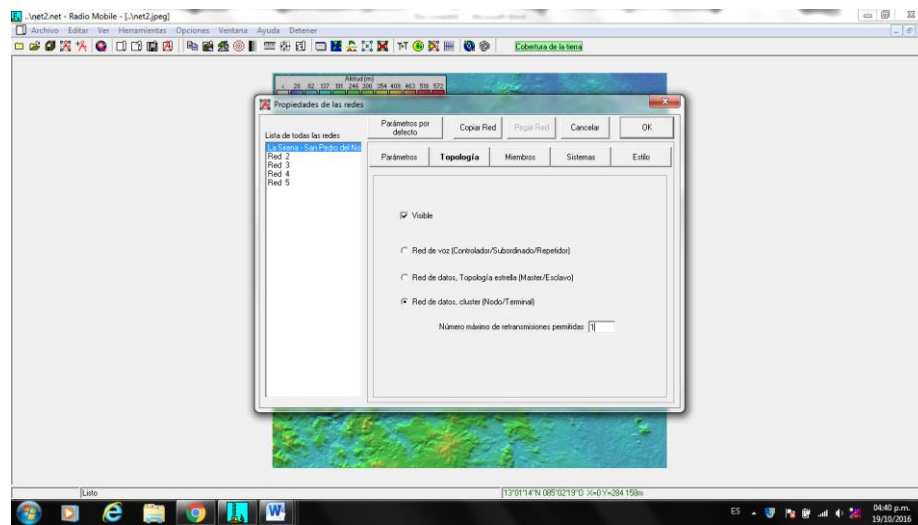
### PASO 3 – Introducción de parámetros de red para el diseño del radio enlace.

En propiedades de la red podemos agregar los datos correspondientes sobre el radio enlace, en esta ventana se introducen la frecuencia, polarización, refractividad de la superficie, conductividad del suelo y permitividad relativa al suelo (figura 35). En el caso que no se conozcan estos últimos 3 datos se puede dejar como inicia el programa que es una manera de condiciones de difícil alcance.



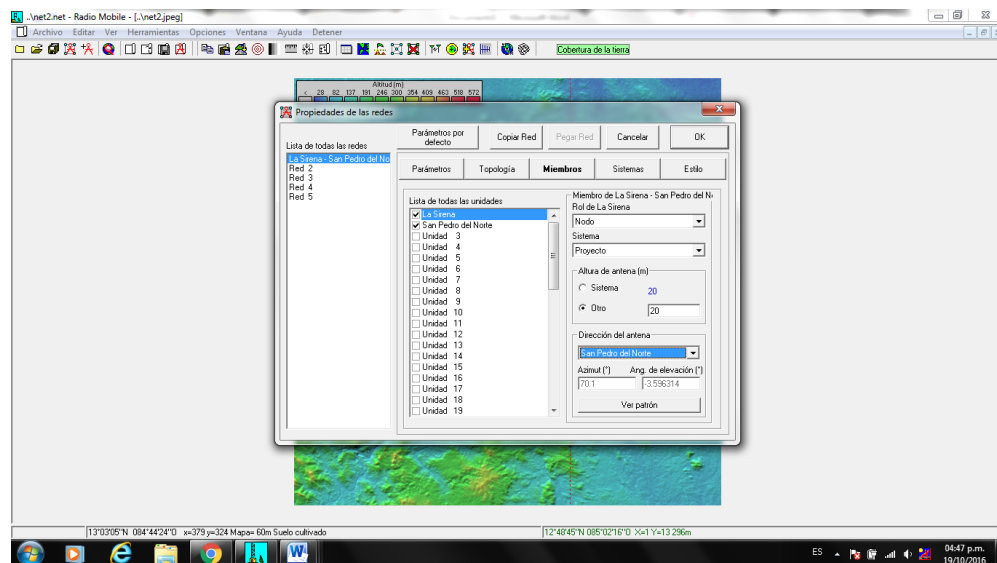
**Figura 35: Selección de datos del radio enlace**

En este caso en el tipo de tipología se seleccionó la red de datos, el cual solo nos permite un nodo que en este caso sería el cerro La Sirena y la terminal sería San Pedro del Norte como se representa en la figura 36.

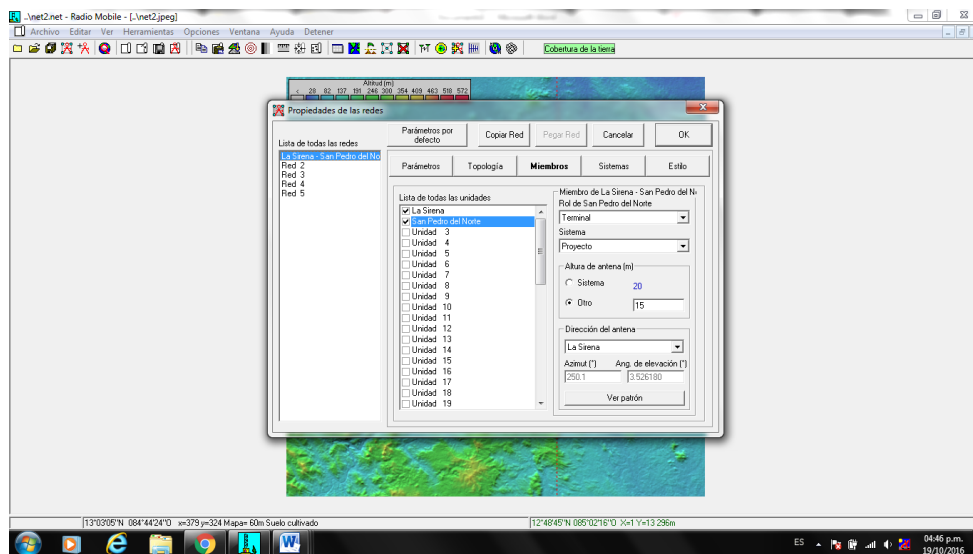


**Figura 36: Selección del tipo de diseño de red para el radio enlace**

En la sección de miembros se selecciona las unidades anteriormente establecidas, en donde se delimitara la función en el sistema, dirección de la antena y altura de la antena como se muestra en la figura 37.

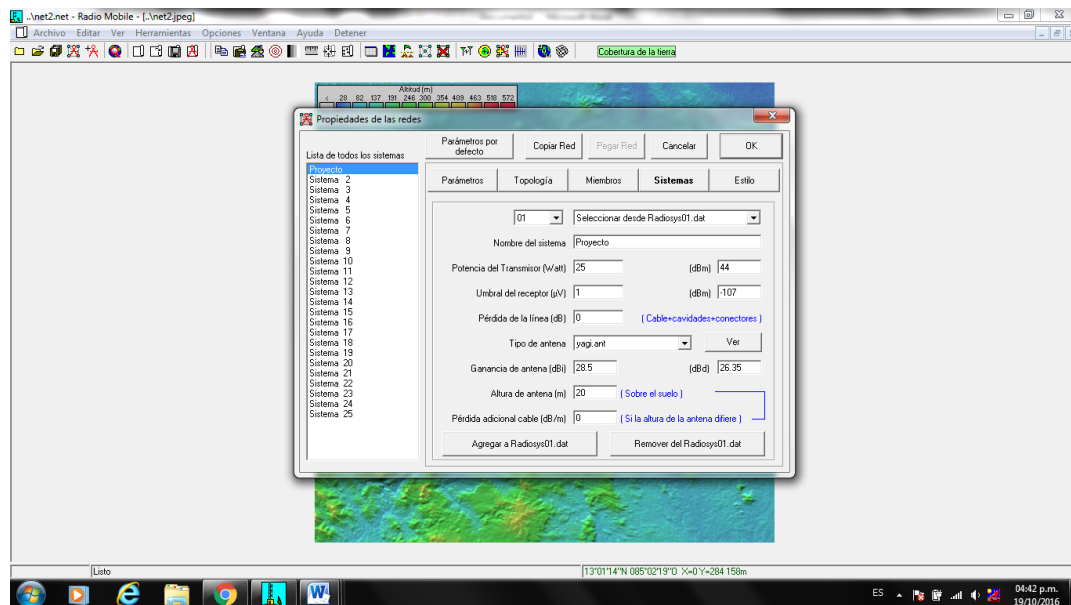


**Figura 37: Selección del sitio LA SIRENA que formará parte del diseño del radio enlace**



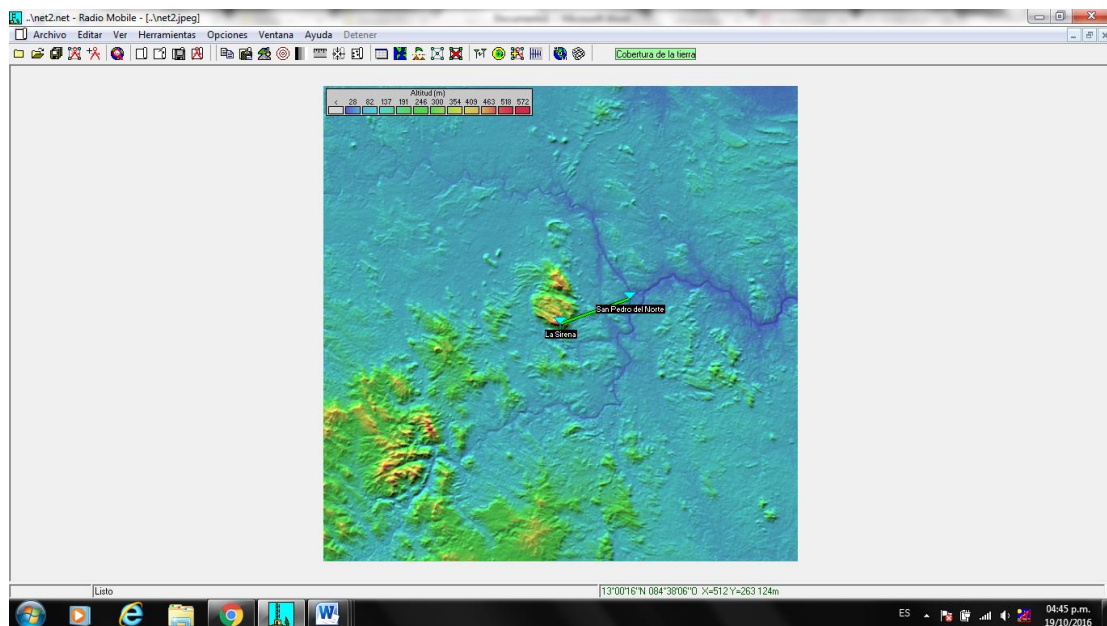
**Figura 38: Selección del sitio SAN PEDRO DEL NORTE que formará parte del diseño del radio enlace**

En la sección de sistemas se establecen la potencia de transmisión, el tipo de antena (en este caso una antena Yagi para que sea dirigido el haz), la ganancia de la antena, altura de la antena y pérdida en el cable a como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 39: Introducción de parámetros de potencia, ganancia y pérdidas para el diseño**

Ya una vez anexados los sitios al sistema estos aparecerán de la siguiente manera:



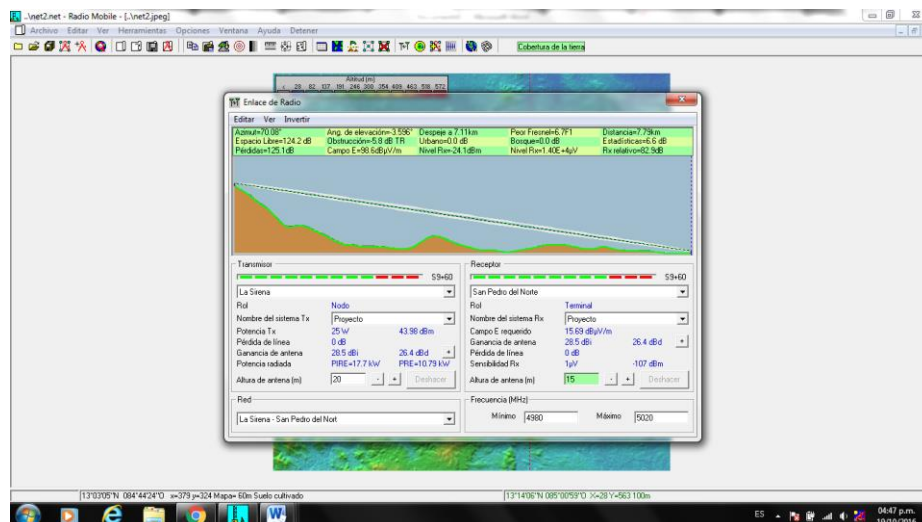
**Figura 40: Sitios reflejados en el mapa**

#### PASO 4 – Creación del radio enlace

El siguiente paso ya determinado los parámetros generales es la creación del radio enlace en sí.

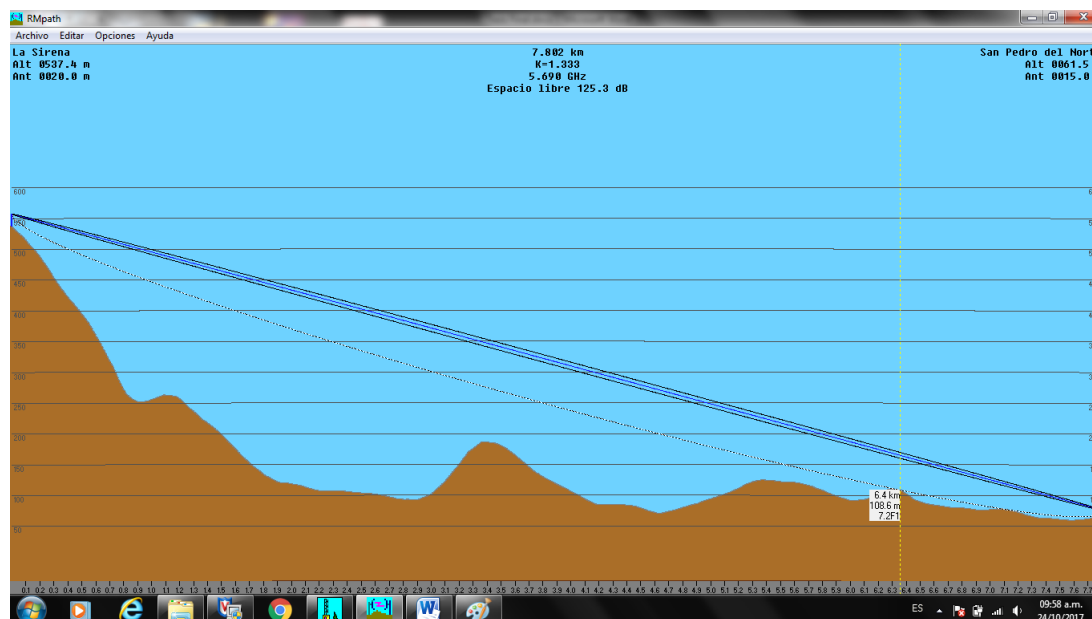
- Herramientas
- Enlace de radio

Esta opción abrirá una ventana mostrando punto a punto entre los dos sitios los datos relacionados: azimuth, niveles de recepción, distancia y línea de vista (figura 41).



**Figura 41: Radio enlace entre sitios**

Quedando en si el diseño del radioenlace de la siguiente manera, representando en si la zona de Fresnel la altura de las antenas en cada sitio, distancia del radio enlace y la frecuencia (figura 42).






**Figura 42: Datos de radio enlace con zonas de Fresnel**

### 3. Presupuesto

La implementación de un nuevo radio enlace punto-punto entre el cerro La Sirena y el municipio de San Pedro del Norte, lleva como objetivo el expandir la cobertura de la red Claro Nicaragua para telefonía 2G y 3G, por lo cual se hace una comparación entre 3 radios de marcas reconocidas en el campo de las telecomunicaciones.

Esta comparativa señala las características que posee los equipos de radios propuestos, su precio en el mercado para así tomar la mejor decisión para la instalación del enlace.

**Tabla 32: Tabla comparativa de soluciones propuestas**

	Huawei RTN 910	Huawei RTN 950	Radwin 2000 D+
<b>Especificaciones</b>			
<b>Frecuencias</b>	6 a 42 GHz	6 a 42 GHz	4.9 a 6.90 GHz
<b>Espacio de Canal</b>	10 – 40 MHz	10 – 40 MHz	10 – 40 MHz
<b>Modulación Adaptativa</b>	NO	NO	SI
<b>Modo de Configuración RF</b>	1+0 – 2+0	N+0 – 1+1 XPIC	N+0 – 1+1
<b>Polaridad</b>	Horizontal o Vertical	Dual	Dual
<b>STM1 – E1</b>	SI	SI	NO

<b>Ethernet</b>	SI	SI	SI
<b>Capacidad</b>	84 Mbps	184 Mbps	164 Mbps
<b>Precio*</b>	\$6,185.70	\$12,020.88	\$ 9,991.20

\*: Este precio equivale al enlace completo con todos sus accesorios y su kit de instalación.

Se presentaron estas 3 propuestas de equipos para la implementación del enlace al departamento de ingeniería de transmisiones de CLARO Nicaragua, tomando en cuenta la parte económica el Huawei RTN 910 sería la primera opción, pero debido a la capacidad de throughput que posee el equipo es demasiado bajo para lo plasmado en el diseño que es de 160Mbps (incluye el tráfico de la RBS y clientes VIP), la carencia de modulación adaptativa y la polaridad de antenas nos podría afectar en el desempeño del radioenlace, debido a que la zona donde se encuentra la comunidad es boscosa y con un clima lluvioso (perdida de paquetes e inestabilidad en el enlace). Por lo cual quedaría descartado ese modelo de radio.

Los modelos Huawei RTN 950 y Radwin 2000D+ cumplen los parámetros de diseño del enlace, se procede a enviar al departamento de compras, debido a que los proyectos locales poseen un techo de presupuesto (\$11,000) y en caso de sobrepasarse este, el departamento de compras solicita autorización del ente regional de la empresa (CLARO Guatemala).

Se escogió la opción del Radwin 2000D+ ya que este no sobrepasa presupuesto y agiliza el cierre de proyecto. Así mismo que se pretende dejar un margen de crecimiento en la red en ese municipio.

Para la implementación del radioenlace se tomó en cuenta tanto de los accesorios, elementos del radio, costo de instalación y pago de renta de sitios, los cuales se describen en las siguientes tablas:



**Tabla 33: Descripción de equipo de radio Radwin 2000 D+**

Elemento	Cantidad	Precio Unitario	Precio
Radwin 2000 D+ 350 MB Full Duplex	2	\$ 2,100.00	\$ 4,200.00
IDU-H/HP	2	\$ 550.00	\$ 1,100.00
Cable ODU-IDU UTP CAT 5e (50 m)	2	\$ 119.00	\$ 238.00
Protección para puerto Ethernet	2	\$ 112.00	\$ 224.00
Antena 34 dBi 3 ft.	2	\$ 790.00	\$ 1,580.00
PIPE para antenas (3 ft.)	2	\$ 350.00	\$ 700.00
SFP 9F para anexar al puerto SFP	2	\$ 108.00	\$ 216.00
Jumper (4 ft.)	4	\$ 45.00	\$ 180.00
Material de instalación para RADWIN 2000C	1	\$ 250.00	\$ 250.00
<b>Sub-Total</b>			\$ 8,688.00
<b>I.V.A.</b>			\$ 1,303.20
<b>Total</b>			<b>\$ 9,991.20</b>

Otros elementos a tomar en el estudio económico están los viáticos para los trabajadores tanto de la empresa TELSSA (instalación) y CLARO (Supervisión de la instalación), Alquiler de sitios de la empresa SBA para el enlace.

**Tabla 34: Dinero para personal de Claro**

Elemento	Días	Número de trabajadores	Valor del viatico	Precio
Hospedaje	2	2	\$ 17.07	\$ 68.28
Alimentación	2	2	\$ 21.93	\$ 87.72
Transporte	2	2	\$ 15.52	\$ 62.07
<b>Total</b>				<b>\$ 218.07</b>

**Tabla 35: Dinero para personal de TELSSA**

Elemento	Días	Número de trabajadores	Valor del viatico	Precio
Hospedaje	2	1	\$ 27.59	\$ 55.17

<b>Alimentación</b>	2	1	\$ 31.03	\$ 62.07
<b>Transporte</b>	2	1	\$ 31.03	\$ 62.07
			<b>Total</b>	<b>\$ 179.31</b>

**Tabla 36: Alquiler de Sitio SBA (Mensual)**

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad de sitios</b>	<b>Precio</b>
<b>Alquiler de antena en torre</b>	2	\$100.00
<b>Alquiler de BTS</b>	2	\$550.00
	<b>Total</b>	<b>\$650.00</b>

El total de la implementación del radio enlace en su total es de \$10,388 con un alquiler mensual de \$650 en ambos sitios a la empresa SBA quedando el total estructurado de la siguiente manera:

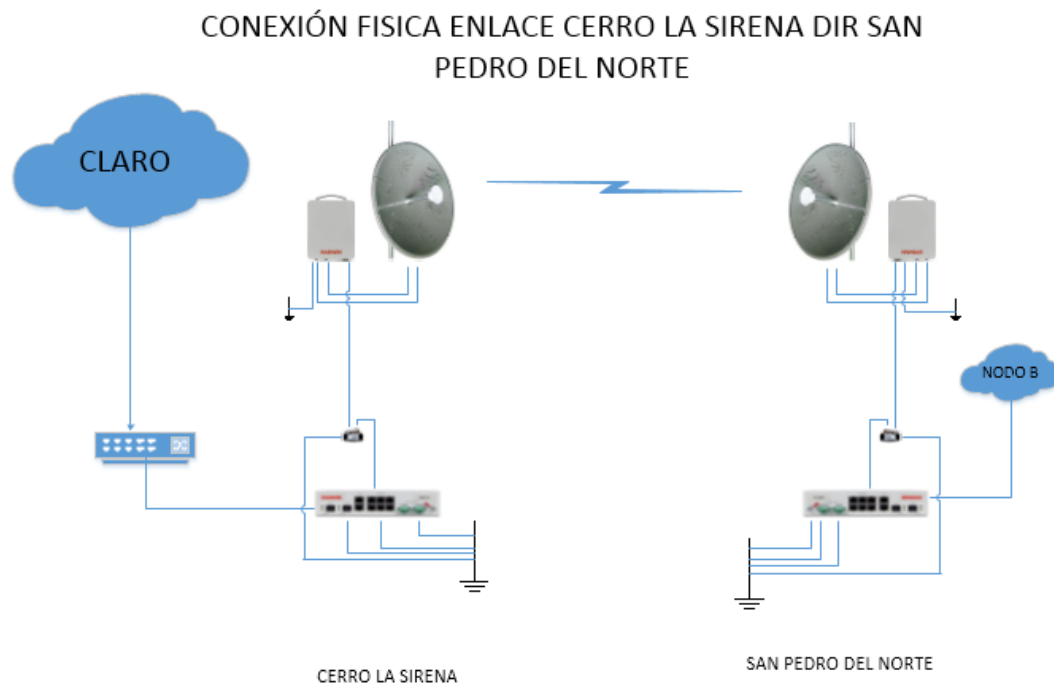
**Tabla 37: Presupuesto para implementación de radio enlace**

<b>Elemento</b>	<b>Precio</b>
<b>Compra de equipo Radwin 2000D+ e Instalación</b>	\$ 9,991.20
<b>Viáticos personal Claro</b>	\$ 218.07
<b>Viáticos personal TELSSA</b>	\$ 179.31
<b>Total</b>	<b>\$ 10,388.58</b>



#### 4. Representación gráfica.

En el sitio terminal SAN PEDRO DEL NORTE se estarán brindando servicios de telefonía de 2G y 3G que saldrán a través del Radwin 2000D+ hacia el sitio nodal que bajara por la otra cara del radio Radwin 2000D+ hacia equipos de datos y entrar en comunicación con la red de CLARO, estos estarán conectados como se representa en la figura 43.



*Figura 43: Representación gráfica del radio enlace LA SIRENA – SAN PEDRO DEL NORTE*

### VIII. IMPLEMENTACIÓN

La implementación del radio enlace consta de la instalación física de equipos indoor y equipos outdoor y la configuración lógica de los equipos según los parámetros de ingeniería plasmado previamente. Una vez realizada la instalación se deben hacer pruebas de desempeños para garantizar la disponibilidad del medio de transmisión.

#### 1. INSTALACIÓN FÍSICA

##### 1.1. Equipos Outdoor

Los equipos outdoor incluyen desde las antenas, soportes de antenas (PIPE) y cables IF. Primeramente se instala el PIPE utilizando mecate y un tecele para subir el soporte a la torre, este es fijado con pernos sin fin acerados para evitar una oxidación prematura, se deja sujetado firmemente a un soporte de la torre en dirección de la Azimuth indicada en la ingeniería. Una vez realizada esto, se

procede a subir la antena y la ODU a la torre, se fija al PIPE y posterior se realiza la conexión de los cables de baja pérdida (JUMPER) entre la ODU y la antena.



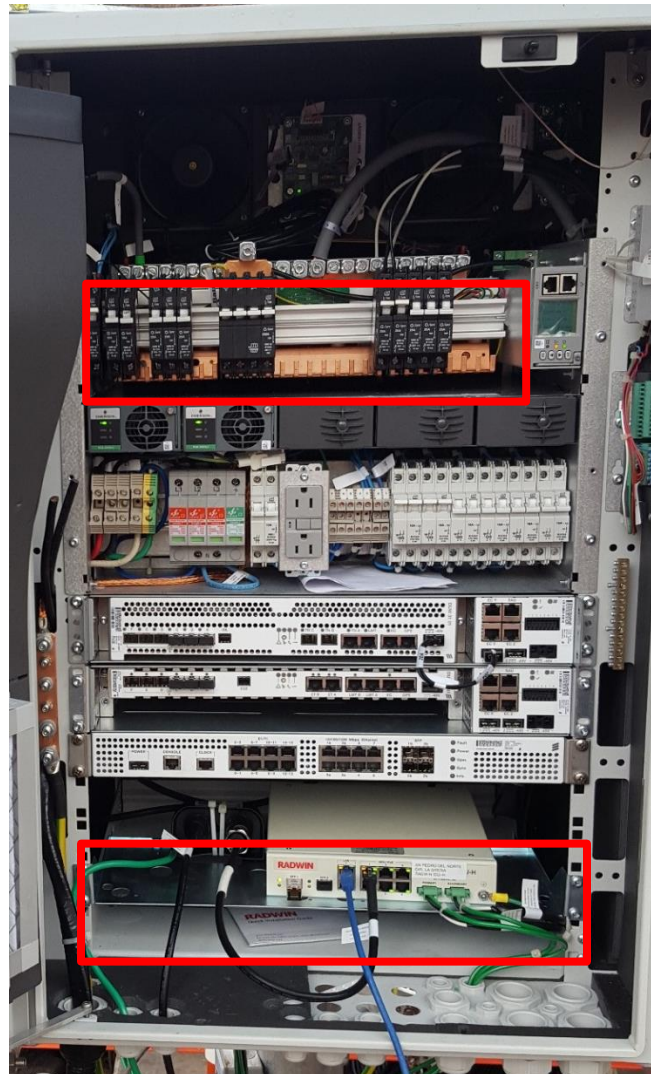
*Figura 44: Instalación de antena y equipo Outdoor*

Luego se realiza la instalación del cable UTP que consta de una conexión que va desde la IDU hasta la ODU, trazando un recorrido a lo largo de la torre, este cable se sujeta con bridas plásticas negras de 14". Esta instalación debe ser realizada por personal capacitado y entrenado para trabajos en altura.

## **1.2. Equipos Indoor**

Esta instalación comprende, únicamente, la instalación de la IDU. La IDU puede ir alimentada de un PDP o DC-PDP que, a su vez, es alimentada de un rectificador de -48VDC.

La IDU requiere un espacio de 1U ya sea en un rack o en un gabinete para ser instalada, a esta se le conecta el cable UTP que baja de la ODU, se conectan los patchcord ya sean de cobre o fibra que van hacia la transmisión del sitio, que puede ser un switch o bien otro radio enlace. Los cables de poder y el chasis de la IDU deben de ir aterrizados a sus correspondientes SPAT.



*Figura 45: Instalación de equipos indoor en los sitios*

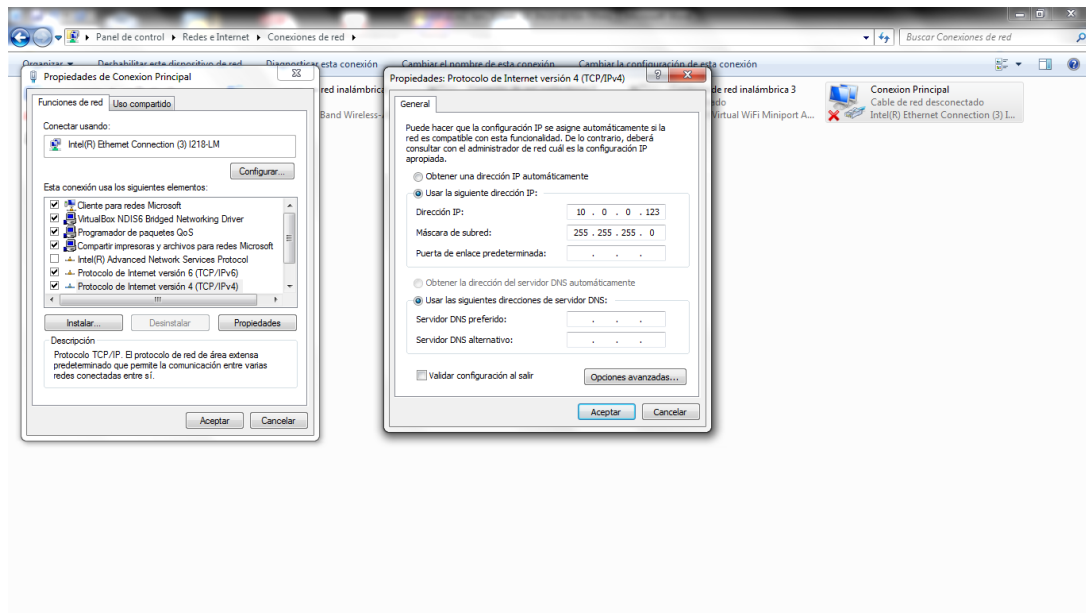
## **2. INSTALACION DE SOFTWARE**

Una de las grandes ventajas de los equipos de radio Radwin es que solo se necesita estar en un sitio para configurar el radio enlace, característica que también posee la serie de RADWIN 2000D+

### **PASO 1 – Conexión al radio de manera local**

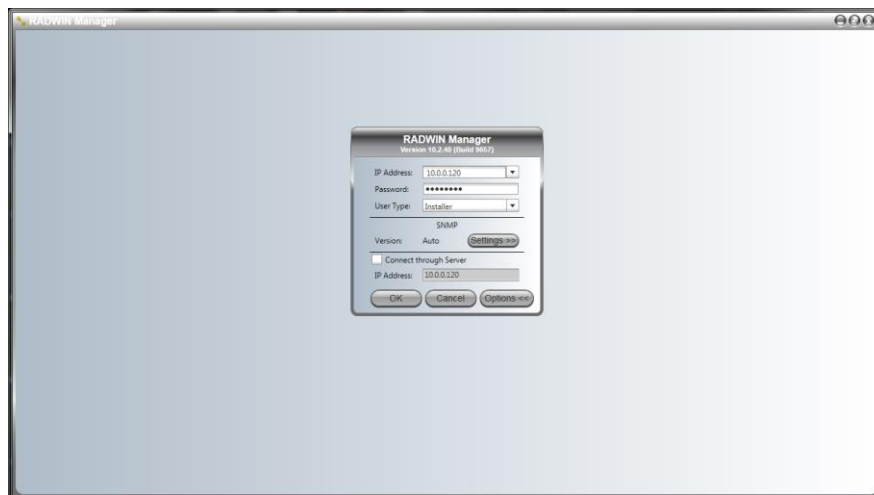
Para poder ingresar al radio se necesita la IP del equipo, en este caso como es un equipo nuevo viene con una IP default 10.0.0.120 y nos conectaremos con una IP cercana y una máscara de red 255.255.255.0, por lo cual hay que cambiarla en el adaptador de red siguiendo los siguientes pasos:

- Panel de control
- Redes e Internet
- Conexiones de red
- Conexión principal
- Protocolo de internet versión 4 (TCP/IPv4)
- Usar la siguiente dirección IP  
Dirección IP: 10.0.0.123  
Mascara de subred: 255.255.255.0



**Figura 46: Dirección IP en la PC local para conectarse al radio**

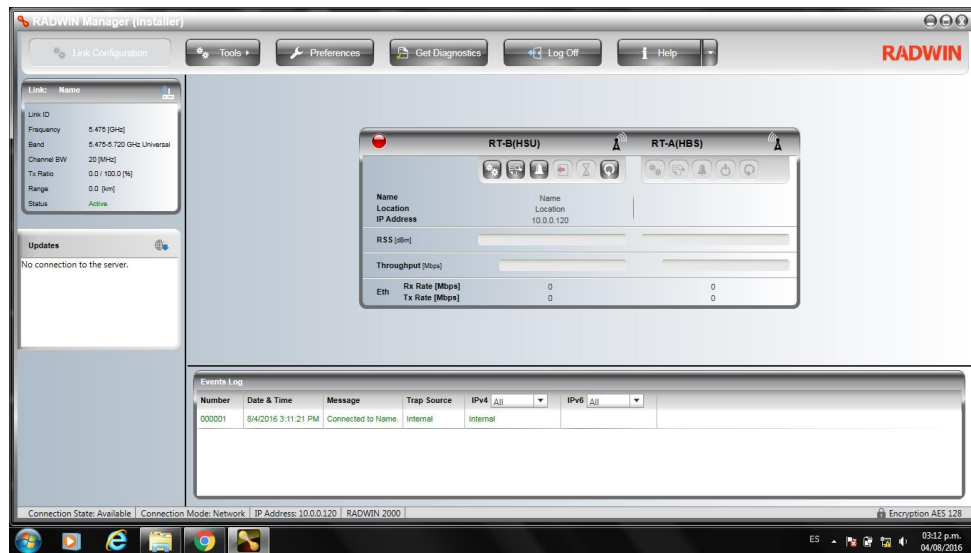
Una vez ya realizado podemos iniciar el RADWIN MANAGER que es el software de configuración del radio (figura 47).



**Figura 47: Interfaz de inicio de RADWIN MANAGER**

En esta sección para ingresar se introduce los siguientes datos:

- IP address: 10.0.0.120
- Password: wireless
- User type: Installer (se utiliza Installer ya que existen otros 2 modos que son Observer y Local Connection, y para realizar cambios en la configuración se requiere el modo instalador)



**Figura 48: Interfaz gráfica de RADWIN MANAGER**

## PASO 2 – Configuración del enlace

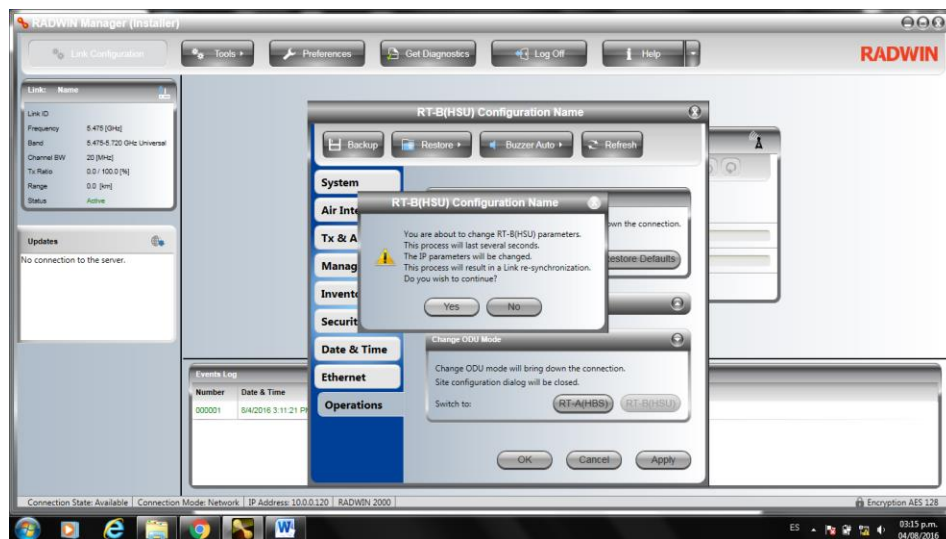
Una vez dentro del radio en el caso de los RADWIN 2000D+ se define una de los 2 sitios como HBS<sup>22</sup> y el otro como HSU<sup>23</sup>, todo equipo de fábrica viene como HSU, para poder lograr eso se hace lo siguiente:

- Configuración de HSU(local)
- Operations
- Change ODU<sup>24</sup> Mode
- Seleccionar RT-A(HBS)
- Clic en YES

<sup>22</sup> HBS: Host Base Station.

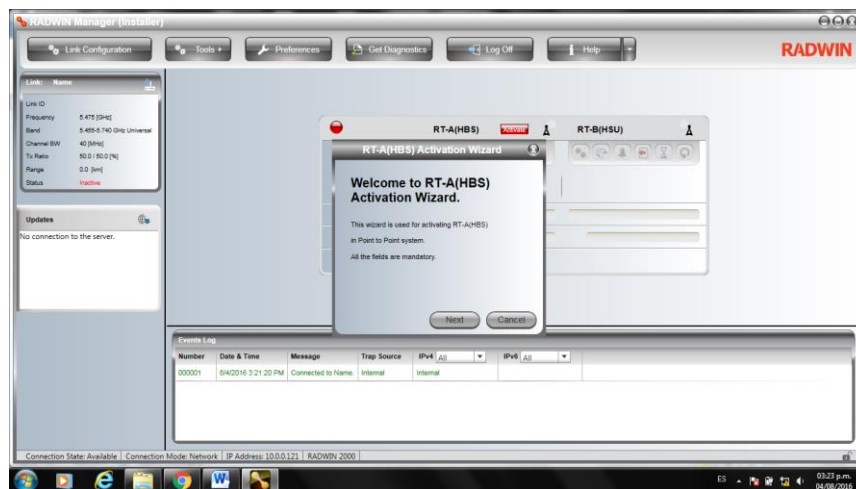
<sup>23</sup> HSU: Host Subscriber Unit.

<sup>24</sup> ODU: Outdoor Unit.



**Figura 49: Cambio de función de ODU**

Una vez ya realizado el cambio aparecerá un botón de color rojo con la palabra **ACTIVATE**, el cual abrirá una ventana de activación del radio enlace donde permite realizar la configuración de ambas caras del enlace, como aparece en la figura 50:



**Figura 50: Activación de configuración de enlace en RADWIN 2000D+**

Una vez activa la configuración ingresar los parámetros siguientes:

- Link ID<sup>25</sup>: La Sirena – San Pedro del Norte
- Link Name<sup>26</sup>: Sirena-SnPedro
- Location<sup>27</sup>: La Sirena

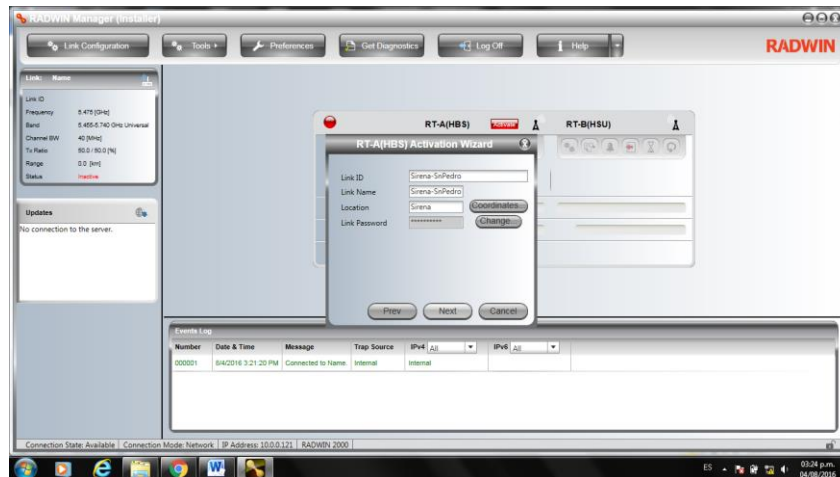
<sup>25</sup> **Link ID:** Aquí se le atribuye un nombre o numero para reconocer el enlace a través del gestor.

<sup>26</sup> **Link Name:** Nombre con el cual identificas el enlace.

<sup>27</sup> **Location:** Ubicación del sitio donde se está configurando.



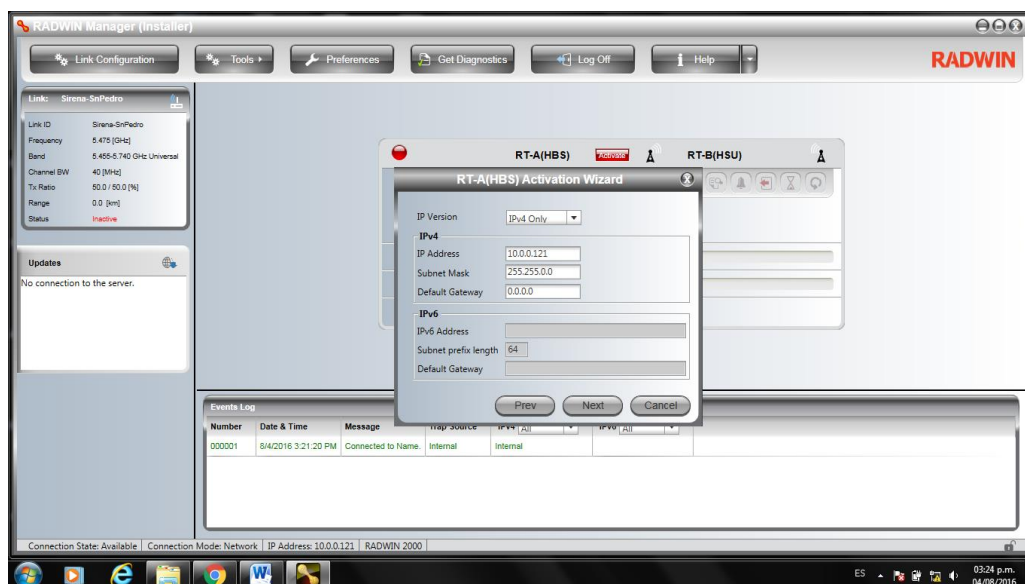
En este caso como el enlace es desde el cerro La Sirena hacia San Pedro del Norte los datos son como se reflejan anteriormente, en otro caso se introducen a deseo del instalador. El nombre de Location se le da como La Sirena ya que este será el sitio nodal (HBS), y estamos de manera local.



**Figura 51: Configuración de nombre del enlace**

En el siguiente paso que presentara la ventana de activación de enlace se introducen las direcciones IP:

- IP address: 10.0.0.121
- Subnet Mask: 255.255.0.0
- Default Gateway: 0.0.0.0

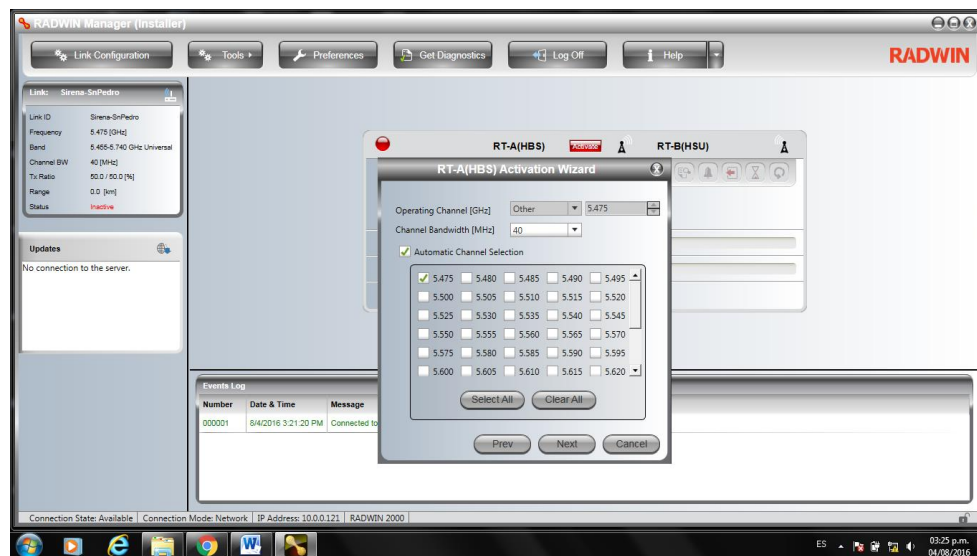


**Figura 52: Introducción de direcciones IP en el radio**

En este caso como se aprecia en la Figura 52 el radio puede trabajar con direcciones IPv4 e IPv6, pero como la comunicación de la red de CLARO aún en su totalidad es IPv4 se define que trabaje bajo ese mismo protocolo.

La otra cara del radio enlace quedara con la dirección IP 10.0.0.120 y una máscara de red 255.255.0.0.

En la siguiente sección de la configuración del radio nos dará la opción de seleccionar la frecuencia y ancho de espectro del radio enlace, en este caso se usara la frecuencia de 5.475 GHz y ancho de espectro de 40 MHz.



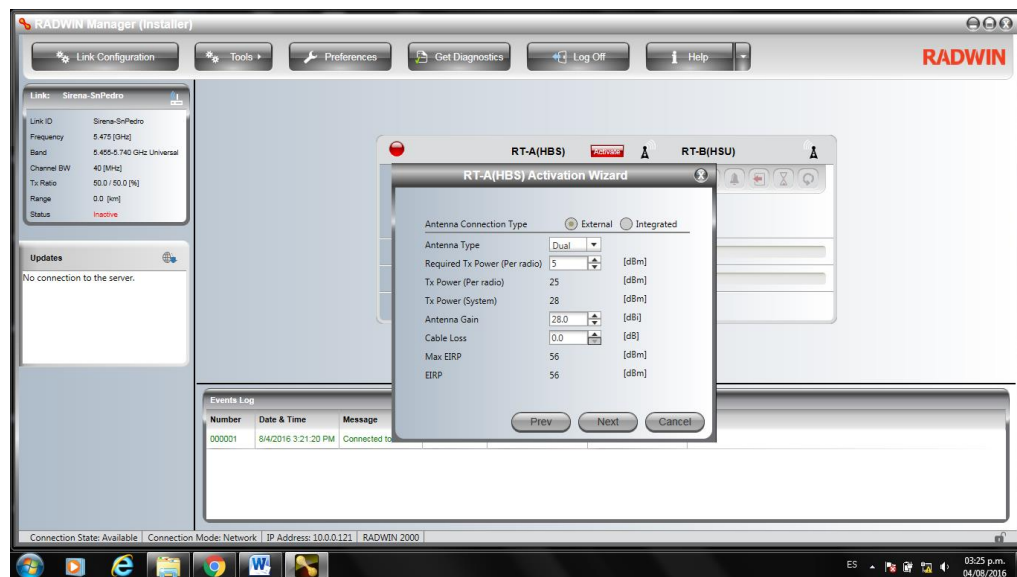
**Figura 53: Selección de frecuencia y ancho de espectro**

En la siguiente sección de configuración nos permite seleccionar el tipo de antena, potencia de transmisión, ganancia de antena.

En el caso de la implementación se usara los siguientes parámetros:

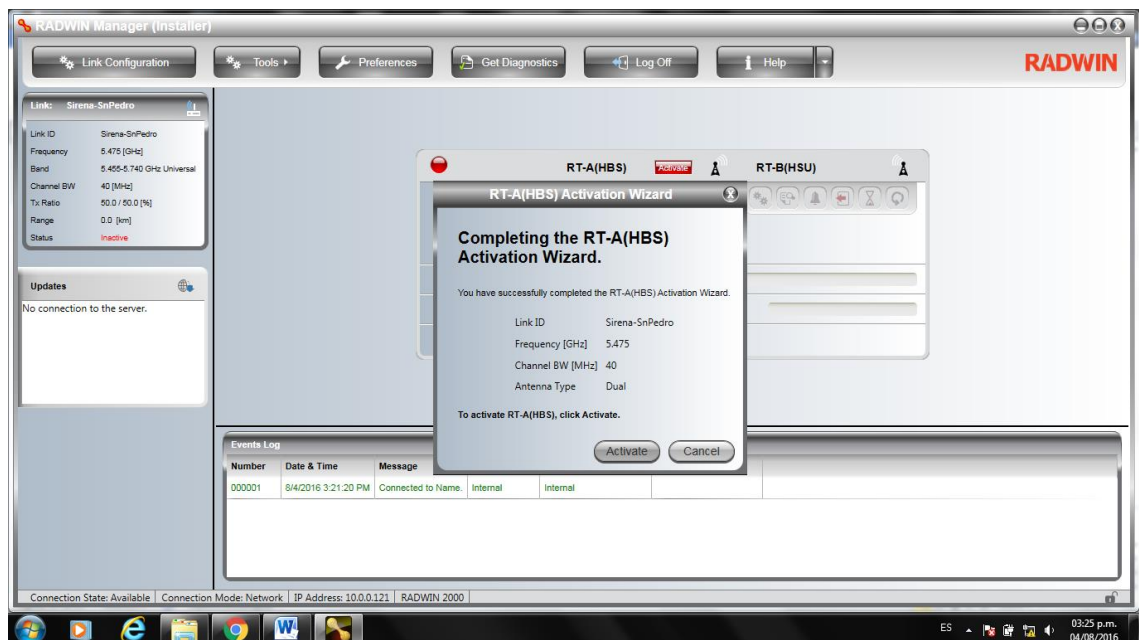
- Tipo de antena: Dual
- Potencia de transmisión: 25 dBm
- Ganancia de antena: 28 dB
- Perdida de cable: 0 dB





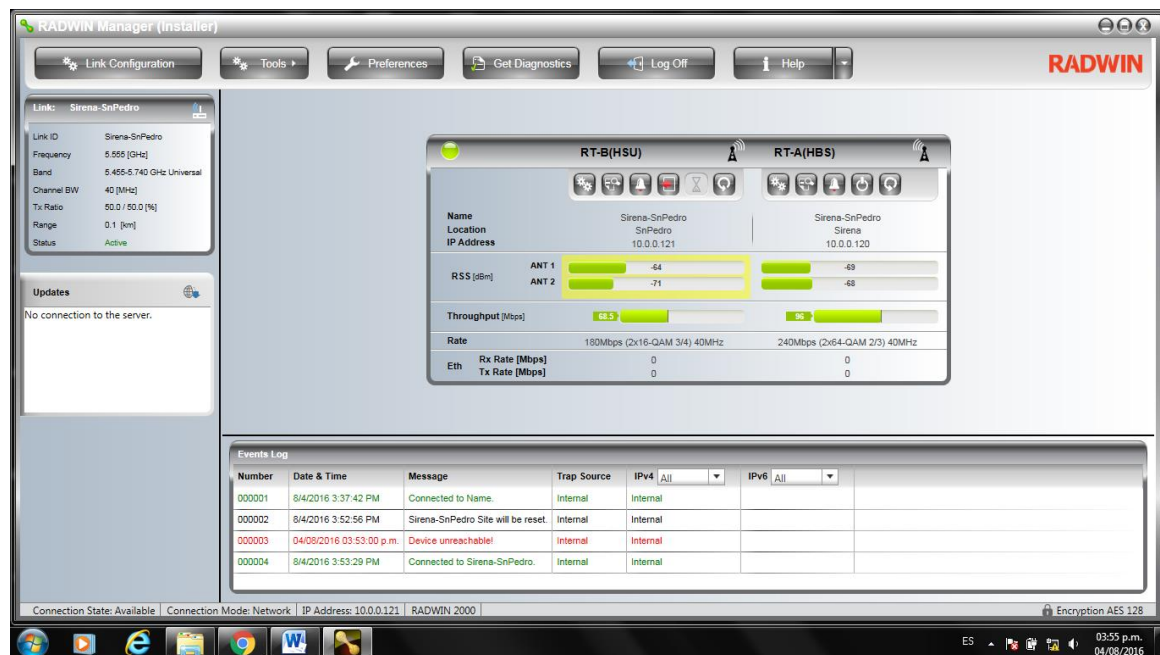
**Figura 54: Introducción de datos de potencia, ganancia y pérdidas**

Realizando todos estos pasos terminamos la parte de configuración del radio.



**Figura 55: Culminación de configuración de radio**

Y el RADWIN MANAGER reflejará los niveles del radio enlace, así también como el throughput que está pasando a través del mismo.



**Figura 56: Niveles de radio enlace y throughput**

## IX. PRUEBAS

Una de las recomendaciones más importante en una red de telecomunicaciones, es verificar la conectividad de los enlaces y la disponibilidad de la red para garantizar el mejor servicio al usuario final, la activación de servicios nuevos y actualización de infraestructura de red.

Cuando una red no trabaja con los parámetros óptimos generalmente este se encuentra limitado en varios aspectos, especialmente con la cantidad de tráfico que puede transmitir, la potencia de transmisión del equipo.

En un sistema de telecomunicaciones la configuración de los parámetros en los equipos de transmisión puede hacer una diferencia así como el hardware, este capítulo abordara sobre las pruebas que se tiene que realizar para corroborar el correcto funcionamiento del enlace.

Se analizaran y medidas a realizar en dispositivos de redes, basándose en las RFC's propuestas por el IETF (BMWG), las medidas apuntan a poder describir el rendimiento de un equipo bajo prueba DUT. El análisis se basara en la RFC 2544.

En este mismo capítulo se presentan medidas realizadas sobre equipos utilizando algunas de las medidas en la RFC 2544.

## **Tareas realizadas por el BMWG**

La principal meta del BMWG es de realizar una serie de recomendaciones en lo concerniente a medidas de performance en tecnologías de interredes (internetworking technologies), más aun estas recomendaciones se pueden enfocar en los sistemas o servicios que son construidos por estas tecnologías.

Cada recomendación describirá:

- La clase de equipo, sistema, o servicio brindado.
- Discutirá las características de performance correspondiente a cada clase.
- Deberá identificar claramente el tipo de medida.
- Deberá brindar los requerimientos para la presentación de los resultados obtenidos, en un formato común y ambiguo.

El alcance del BMWG está limitado a la caracterización de la tecnología utilizada mediante estímulos en ambientes de laboratorio. En otras palabras el BMWG no pretende producir benchmarks para redes operacionales.

## **Terminología y metodología de pruebas según RFC 2544.**

La RFC 2544 discute y define un número de pruebas que pueden ser utilizadas para describir y comparar las características de performance de dispositivos de interconexión de redes. Asimismo describe los formatos para el reporte de los resultados de las pruebas.

Este trabajo se centrara en las pruebas de rendimiento (Benchmarking tests) descritas en la RFC 2544, que se han realizado con el equipo de prueba NetBlazer FTB-880<sup>28</sup>, estos parámetros que se utilizaron en la prueba se ven reflejado en el archivo anexo Pruebas RFC 2544 San Pedro del Norte que se encuentra en este trabajo:

---

<sup>28</sup> NetBlazer FTB-880: Equipo de prueba para tecnologías PDH, SDH/SONET, ISDN, OTN, Fibra Óptica.

- **Throughput**

Es la máxima tasa a la cual ninguna de las tramas ofrecidas es descartada por el dispositivo.

Throughput (Mbit/s)			
Layer			
	All	Ethernet	IP
64	160.000	121.904	87.619
128	160.000	138.378	118.918
256	160.000	148.405	137.971
512	160.000	153.984	148.571
1024	160.000	156.934	154.176
1280	160.000	157.538	155.323
1518	160.000	157.919	156.046

*Figura 57: Resultados de pruebas Throughput*

- **Latency**

- Dispositivos Store and Forward: Es el intervalo de tiempo comenzando cuando el último bit de la trama entrante alcanza el puerto de entrada y terminando cuando el primer bit de la misma trama es visto en el puerto de salida.
- Dispositivos bit Forwarding: Es el intervalo de tiempo comenzando cuando el final del primer bit de la trama entrante alcanza el puerto de entrada y terminando cuando el comienzo del primer bit de la misma trama es visto en el puerto de salida.

- **Frame loss rate**

Es el porcentaje de tramas que deberían ser enviadas (forwarded) por un dispositivo de red bajo estado estacionario de carga (constante) pero no son enviadas (forwarded) por la falta de recursos.

	Frame Loss (%, 16.0000 % Step)	Latency (ms, Cut Through) Mode
64	0.000	0.00494
128	0.000	0.00494
256	0.000	0.00494
512	0.000	0.00489
1024	0.000	0.00494
1280	0.000	0.00494
1518	0.000	0.00489

*Figura 58: Resultados de prueba de pérdida de trama y latencia*

Para levantar los servicios 2G y 3G en la zona se necesita realizar unas pruebas de conectividad para verificar si toda la ruta esta correcta hasta los servidores.

### Comando Ping

El comando ping se utiliza para comprobar la dirección IP de destino que desea alcanzar y registrar los resultados. El comando ping muestra si se ha recibido una respuesta del destino y cuánto tiempo se ha tardado en recibirla. Si se produce un error en la entrega al destino, el comando ping muestra un mensaje de error. (Microsoft, 2003).

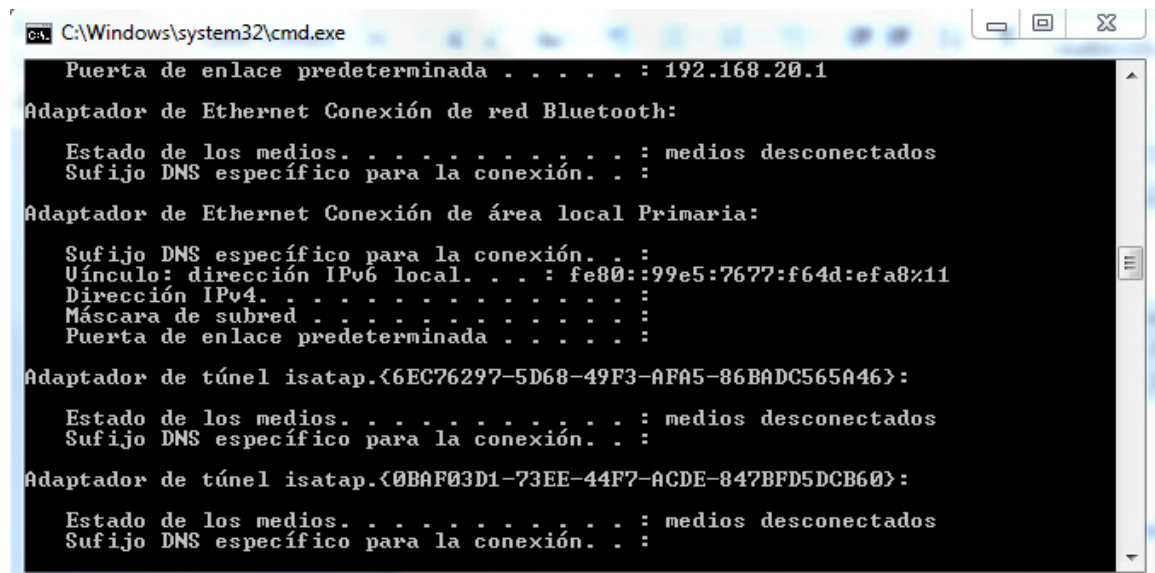
Por motivos de confidencialidad de la empresa CLARO se ocultarán todas las direcciones IP, máscaras de red y gateway utilizados en este tipo de pruebas.

Las IP asignadas para la 3G son las siguientes:

**Tabla 38: Asignación de direcciones IP para VLAN 2500 y VLAN 2502**

VLAN	IP	MASK	GATEWAY
2500(Trafico)	XXX.XXX.XXX.XXX	XXX.XXX.XXX.XXX	XXX.XXX.XXX.XXX
2502(Gestión)	XXX.XXX.XXX.XXX	XXX.XXX.XXX.XXX	XXX.XXX.XXX.XXX

### VLAN 2500



**Figura 5959: IP de host ubicado en San Pedro del Norte VLAN 2500**

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\eduardo.obando>
C:\Users\eduardo.obando>ping -t

Haciendo ping a con 32 bytes de datos:
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=7ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=52ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=16ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=15ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=36ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=51ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=12ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=8ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=15ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=8ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=41ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=19ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=6ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=6ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=12ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255

```

Figura 60: Ping Gateway para VLAN 2500

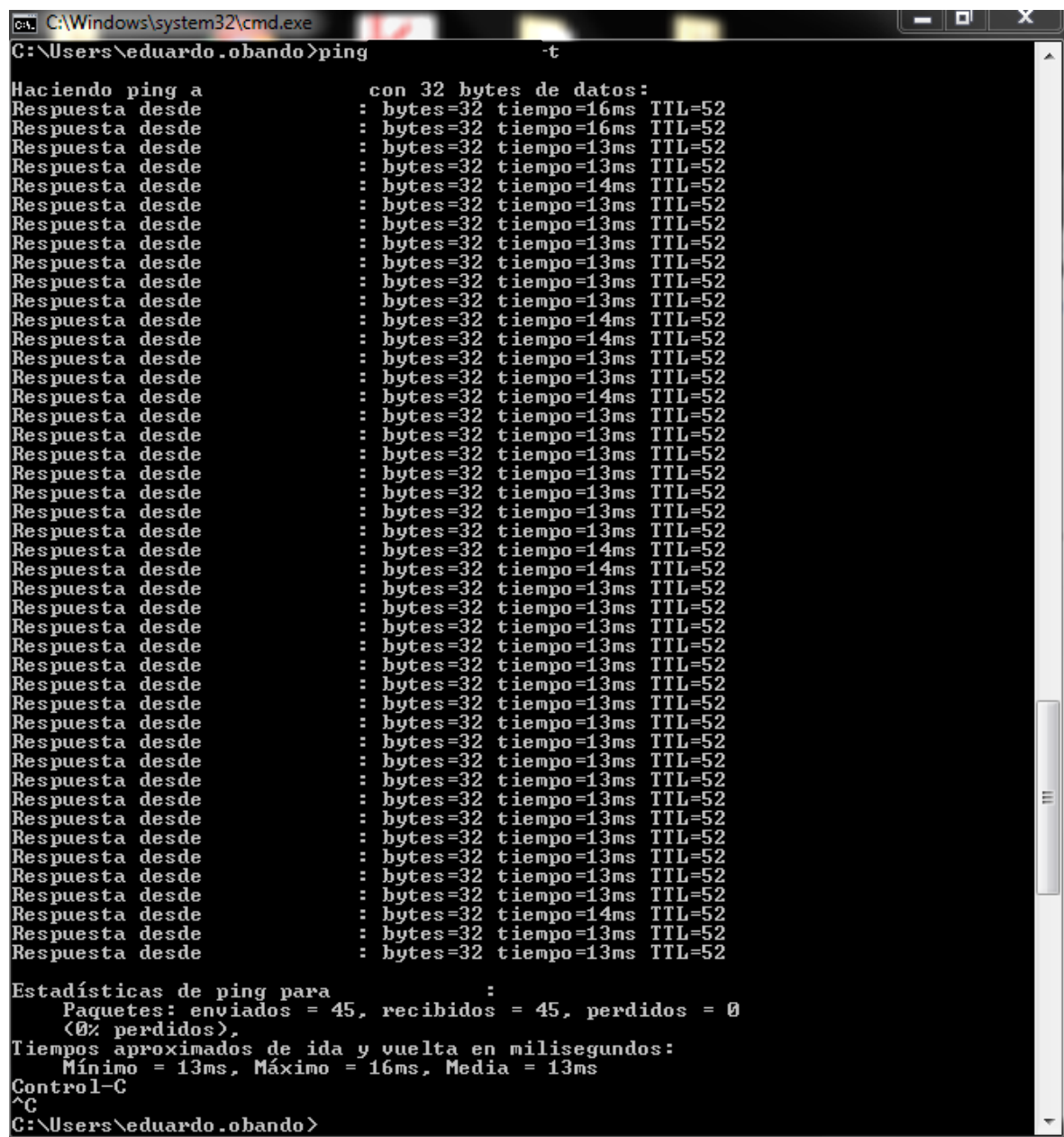


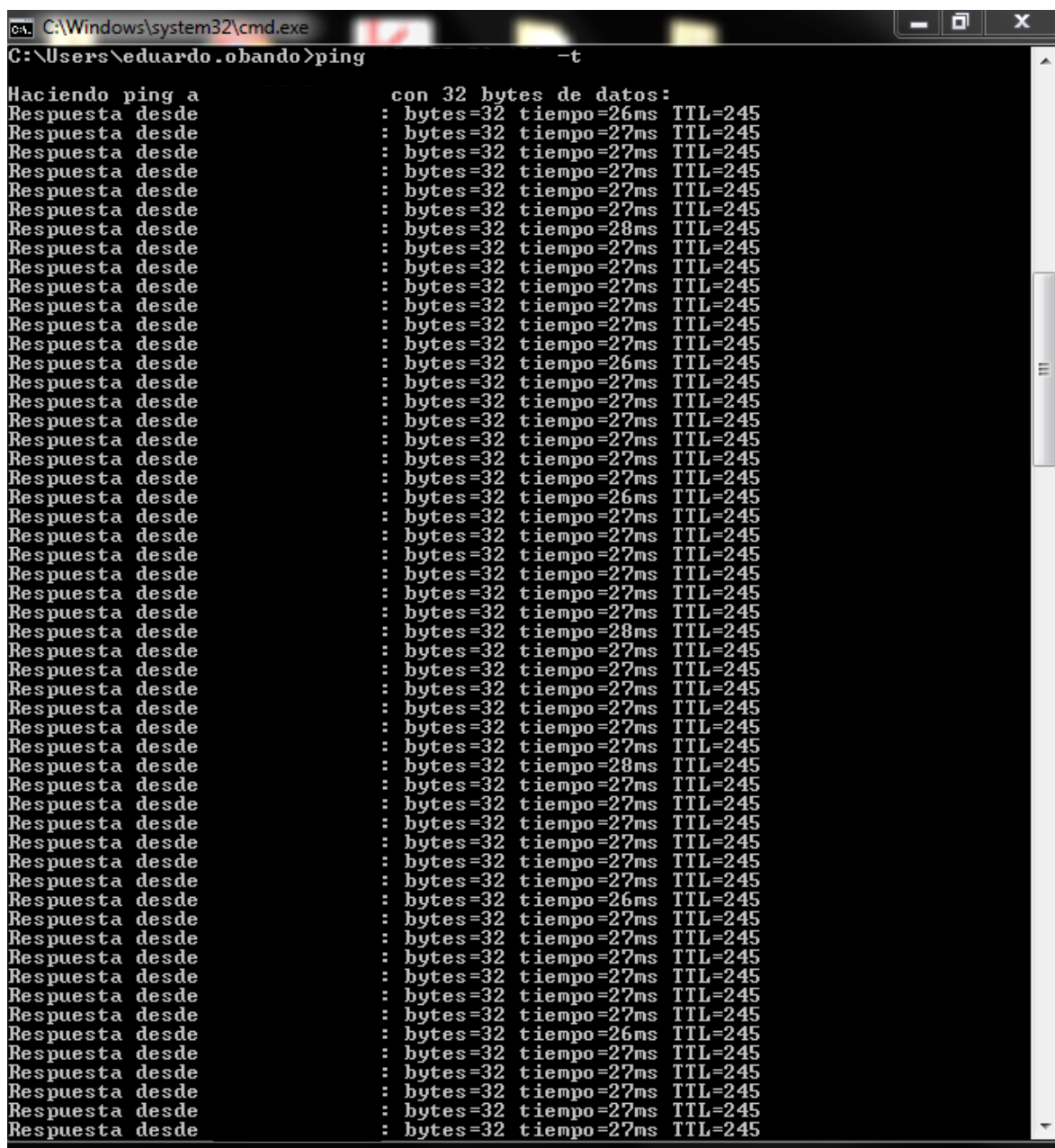


[illegible]









**Figura 66: Ping hacia servidor OSS**

**Tabla 39: Asignación de direcciones IP para VLAN 2668 y VLAN 2669**

VLAN	IP	MASK	GATEWAY
2668 (Tráfico)	XXX.XXX.XXX.XXX	XXX.XXX.XXX.XXX	XXX.XXX.XXX.XXX
2669 (Gestión)	XXX.XXX.XXX.XXX	XXX.XXX.XXX.XXX	XXX.XXX.XXX.XXX

## VLAN 2668

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

C:\Users\eduardo.obando>ipconfig

Configuración IP de Windows

Adaptador de Ethernet 2668:

    Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
    Vínculo de dirección IPv6 local. . . . : fe80::a4e7:9f25:a6a0:a832%30
    Dirección IPv4. . . . . :
    Máscara de subred . . . . . :
    Puerta de enlace predeterminada . . . . . :

Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de red inalámbrica 3:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . . :

Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de red inalámbrica 2:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
```

**Figura 67: IP de host VLAN 2668**

```
C:\Windows\system32\cmd.exe -t  
C:\Users\eduardo.obando>ping  
  
Haciendo ping a con 32 bytes de datos:  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=17ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=18ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=29ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=23ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=20ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=31ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=24ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=36ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=35ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=20ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=29ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=22ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=18ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=18ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=31ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=65ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=59ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=22ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=20ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=20ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=20ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=31ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=20ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=19ms TTL=255  
Respuesta desde : bytes=32 tiempo=18ms TTL=255
```

```
Estadísticas de ping para :  
Paquetes: enviados = 49, recibidos = 49, perdidos = 0  
(0% perdidos).
```

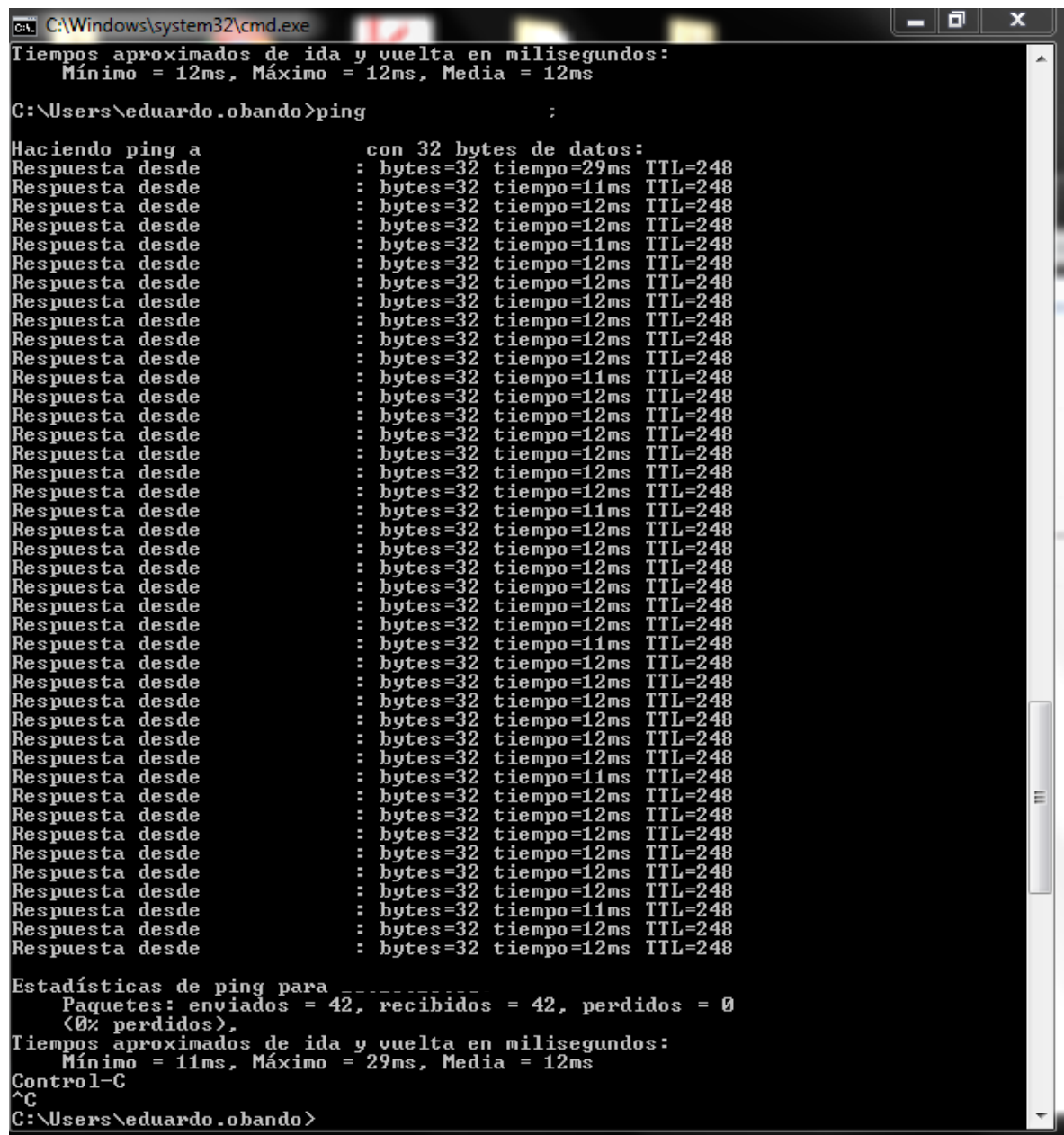
**Figura 628: Ping hacia Gateway**

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\eduardo.obando>
C:\Users\eduardo.obando>ping -t

Haciendo ping a con 32 bytes de datos:
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=15ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=12ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=10ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=12ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55
Respuesta desde bytes=32 tiempo=11ms TTL=55

Estadísticas de ping para
Paquetes: enviados = 44, recibidos = 44, perdidos = 0
(0% perdidos),
Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
Mínimo = 10ms, Máximo = 15ms, Media = 10ms
Control-C
^C
C:\Users\eduardo.obando>
```

**Figura 6963: Ping hacia Servidor NTP1**



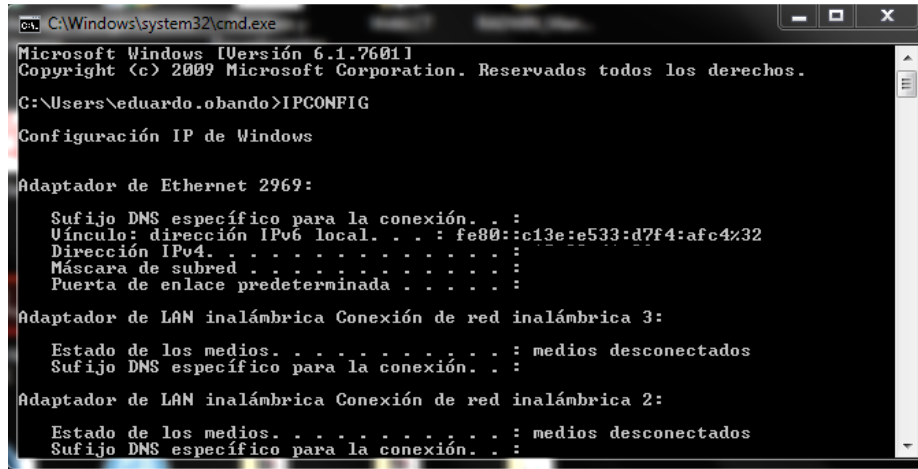
**Figura70: Ping hacia Servidor NTP2**



[illegible]

**Figura 71: Ping hacia PGW BSC NIVIF1B**

## VLAN 2669



```

C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

C:\Users\eduardo.obando>IPCONFIG

Configuración IP de Windows

Adaptador de Ethernet 2969:

    Sufijo DNS específico para la conexión. . . : 
    Vínculo: dirección IPv6 local. . . : fe80::c13e:e533:d7f4:afc4%32
    Dirección IPv4. . . . . : 
    Máscara de subred . . . . . : 
    Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 

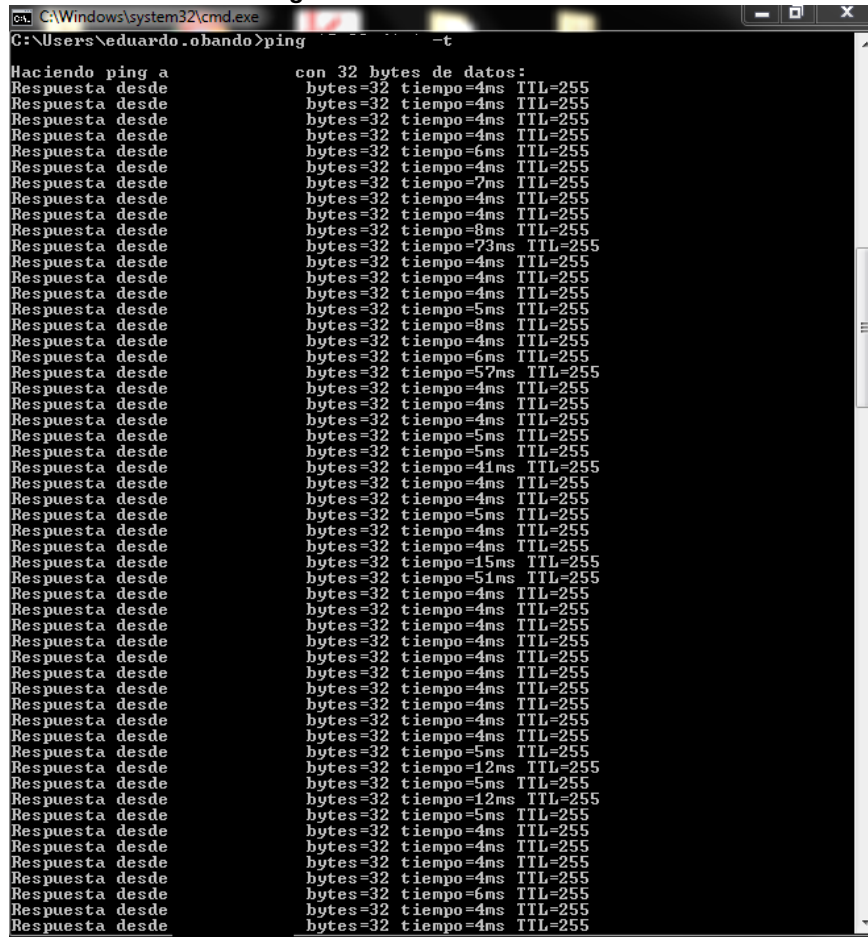
Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de red inalámbrica 3:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . . : 

Adaptador de LAN inalámbrica Conexión de red inalámbrica 2:

    Estado de los medios. . . . . : medios desconectados
    Sufijo DNS específico para la conexión. . . : 
  
```

Figura 72: IP de host VLAN 2669



```

C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\eduardo.obando>ping -t

Haciendo ping a con 32 bytes de datos:
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=6ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=7ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=8ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=73ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=8ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=6ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=57ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=41ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=15ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=51ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=12ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=12ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=6ms TTL=255
Respuesta desde bytes=32 tiempo=4ms TTL=255
  
```

Figura 643: Ping hacia Gateway







## X. CONCLUSIONES

El presente proyecto final de carrera consto de 4 fases para su elaboración, una primera fase para la búsqueda de información, una segunda fase para el diseño e implementación del radio enlace punto a punto para comunicar a la comunidad San Pedro del Norte a la red CLARO, una tercera fase para la prueba del radioenlace mismo, y la cuarta etapa la realización del presente escrito.

La fase del diseño e implementación se divide en 3 etapas:

- **Diseño en software:** En esta etapa se logró entender el manejo y función de los 2 software para la realización de diseño de radioenlaces como lo son **PATHLOSS 5.0** (licenciado) y **RADIOMOBILE** (gratuito), así mismo como presentar una guía práctica de ambos software y ver diferencias entre ellos y poder tener un conocimiento básico para diseños realizados por estudiantes en el futuro y lograr adaptarse con mayor facilidad en trabajos universitarios y trabajo profesional de campo.
- **Presupuesto:** En esta etapa tiene mucha importancia ya que en la realización de diseños de radioenlaces como proyectos universitarios se omite la mayor parte de las veces, planteando cualquier tipo de equipos (solo se toma el concepto general y la funcionalidad de ellos), y en este escrito se logra establecer un ejemplo de lo necesario para tomar en cuenta a la hora de un diseño y compra de equipos, observando la relación costo-beneficio que se ignora.
- **Implementación:** En esta etapa se logró complementar las 2 etapas anteriormente mencionadas, ya que es la finalización del proyecto en sí, lográndose manipular el equipo en físico demostrando al lector como es la configuración de un radio.

La fase de pruebas del radioenlace se realizó para demostrar la funcionabilidad del proyecto en sí, haciendo pruebas dentro de la regulación de una red de telecomunicaciones activa.

El desarrollo de la presente tesis ha dejado abierta las posibilidades de entender bien el ramo de las telecomunicaciones desde la perspectiva de diseño y campo, dejando al mismo tiempo como base para una optimización de estudios futuros dentro de la institución universitaria y futuras tesis con temas relacionados al trabajado en el presente escrito.

## **XI. RECOMENDACIONES**

Las siguientes recomendaciones son para un mejor aprovechamiento del presente trabajo para trabajos universitarios:

El presente trabajo se puede tomar tanto como guía de estudio para estudiantes que opten por el aprendizaje de diseño de radioenlaces, así también como referencias para docentes que impartan clases relacionadas con radioenlaces para optimizar sus guías de estudio y enfatizar en pequeños elementos del diseño que se omiten por trabajar con variables ideales.

Así mismo si se logra tomar en cuenta el presente trabajo como referencia posterior se debe mantener al tanto de posibles cambios en los software mencionados en el presente escrito, tomando en cuenta que estos siempre están en constante actualización y las figuras de cómo realizar el diseño pueden variar.

Se debe considerar que el uso de software de diseño de radioenlaces deba ser agregado al pensum de la carrera debido que es de suma importancia en el ámbito laboral de campo.

## XII. REFERENCIAS

1. 3Cu Electrónica. (2005). Obtenido de <https://sites.google.com/site/3cuelelectronica/home/radio-enlaces-1>
2. Ancí Paredes, D. M. (Julio de 2012). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD Y DISEÑO DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES PARA EL POBLADO DE SOL A SOL EN PIURA*. Obtenido de Repositorio Digital de Tesis PUCP: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1472?show=full>
3. Carrillo, J. (Mayo de 2011). *Biblioteca USAC*. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0285\\_EO.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0285_EO.pdf)
4. CISCO. (Enero de 2016). *Netacad*. Obtenido de [https://www.netacad.com/es/?p\\_p\\_id=58&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximize&saveLastPath=false&\\_58\\_login=fernandojosueoviedogonzalez](https://www.netacad.com/es/?p_p_id=58&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximize&saveLastPath=false&_58_login=fernandojosueoviedogonzalez)
5. *El Nuevo Diario*. (09 de Octubre de 2013). Obtenido de <http://www.elnuevodiario.com.ni/politica/298697-san-pedro-norte-quiere-ser-municipio/>
6. Mendoza, A. (28 de Mayo de 2012). *SlideShare*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/Alhippie/vlan-13113011>
7. Pachón de la Cruz, Á. (29 de Octubre de 2004). *icesi*. Recuperado el 26 de Enero de 2016, de [http://www.icesi.edu.co/contenido/pdfs/apachon\\_gsm.pdf](http://www.icesi.edu.co/contenido/pdfs/apachon_gsm.pdf)
8. Pillou, J.-F. (Febrero de 2016). *Creative Commons*. Obtenido de <http://es.ccm.net/contents/286-vlan-redes-virtuales>
9. *PSA Telefonía Movil*. (s.f.). Recuperado el 26 de Enero de 2016, de <https://sites.google.com/site/psatelefoniamovil/generacin-2-2g>
10. Romero Ternerero, M. C. (2003/2004). Obtenido de <http://www.dte.us.es/personal/mcromero/docs/ip/tema-seguridad-IP.pdf>
11. Rosero, V. (Enero de 2007). *bibdigital.epn.edu.ec*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/189/1/CD-0587.pdf>
12. TELCOR. (21 de Enero de 2008). Obtenido de [http://www.telcor.gob.ni/Desplegar.asp?PAG\\_ID=15#QueEsFitel](http://www.telcor.gob.ni/Desplegar.asp?PAG_ID=15#QueEsFitel)
13. Vera, A. (7 de Diciembre de 2006). *Monografias.com*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos15/telefonía-celular/telefonía-celular.shtml>
14. Avilés Yunda , J. A., & Pachacama Llumiquinga, C. J. (Junio de 2015). *Biblioteca Digital Escuela Politécnica Nacional Ecuador*. Recuperado el 28 de Octubre de 2016, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11046/1/CD-6371.pdf>

15. Ayuda, A. (25 de Agosto de 2005). *Adsl Ayuda*. Recuperado el 16 de Octubre de 2016, de <http://www.adslayuda.com/foro/topic/17085-ping-latencia-fast-path-interleave-ancho-de-banda/>
16. Bradner, G. d. (Marzo de 1999). *RFC2544*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2016, de <http://www.normes-internet.com/normes.php?rfc=rfc2544&lang=es>
17. Bradner, S. (Marzo de 1999). *The Internet Engineering Task Force (IETF®)*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2016, de <https://tools.ietf.org/pdf/rfc2544.pdf>
18. Diario de Planificación y Diseño de Redes y Servicios. (11 de Enero de 2011). *Diario de Planificación y Diseño de Redes y Servicios*. Recuperado el 28 de Febrero de 2016, de <https://diarioredesyservicios.wordpress.com/2012/01/11/conceptos-basicos-sobre-planificacion-de-redes/>
19. Florez, M. F. (s.f.). *Repositorio de la Universidad Católica de Pereira*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2016, de <http://ribuc.ucp.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10785/526/completo.pdf?sequence=1>
20. Frey, Á. C. (10 de Marzo de 2013). *Repositorio Académico de la Universidad de Chile*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/113867>
21. Glosario servidor alicante. (22 de Octubre de 2016). *Glosario servidor alicante*. Recuperado el 02 de Enero de 2017, de [http://glosarios.servidor-alicante.com/electronica-informatica-telecomunicaciones\\_en/throughput](http://glosarios.servidor-alicante.com/electronica-informatica-telecomunicaciones_en/throughput)
22. Perrazo, E. R., & Cáceres Montesdeoca, C. D. (Octubre de 2006). *Repositorio Digital Universidad Técnica de Ambato*. Recuperado el 08 de Agosto de 2016, de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/386>
23. Piedra, F. A. (Enero de 2011). *Universidad de Costa Rica*. Recuperado el 30 de Octubre de 2016, de [http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb2011/pb2011\\_030.pdf](http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb2011/pb2011_030.pdf)
24. Speed-Test. (2016). *Speed-test.es*. Recuperado el 04 de Marzo de 2016, de [http://www.speed-test.es/qu\\_es\\_la\\_latencia](http://www.speed-test.es/qu_es_la_latencia)
25. Technologies, A. (14 de Noviembre de 2004). *Agilent Technologies*. Recuperado el 02 de Marzo de 2016, de <http://test4tot.com/wp-content/uploads/2016/05/RFC2544.pdf>
26. Telecom, A. (2013). *Albedo Telecom*. Recuperado el 02 de Diciembre de 2016, de <http://www.albedotelecom.com/src/lib/WP-RFC2544.pdf>